



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI
KACA LEMBARAN JENIS *LAMINATED* DI PT. X
DENGAN METODE *SIX SIGMA***

NIKEN DWI LARASATI
NRP 1312 100 109

Dosen Pembimbing
Dra. Lucia Aridinanti, MT

PROGRAM STUDI S1 STATISTIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - SS141501

**QUALITY CONTROL OF FLAT GLASS
TYPE LAMINATED PROCESS PRODUCTION
AT PT. X WITH SIX SIGMA METHOD**

**NIKEN DWI LARASATI
NRP 1312 100 109**

**Supervisor
Dra. Lucia Aridinanti, MT**

**Undergraduate Program of Statistics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI
KACA LEMBARAN JENIS *LAMINATED* DI PT. X
DENGAN METODE *SIX SIGMA***

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada**

**Program Studi S-1 Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**NIKEN DWI LARASATI
NRP. 1312 100 109**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**Dra. Lucia Aridinanti, MT
NIP. 19610131 198701 2001**

()

**Mengetahui
Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS**




**Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001**

SURABAYA, JANUARI 2016

PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI KACA LEMBARAN JENIS *LAMINATED* DI PT. X DENGAN METODE *SIX SIGMA*

Nama Mahasiswa : Niken Dwi Larasati
NRP : 1312 100 109
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS
Dosen Pembimbing : Dra. Lucia Aridinanti, MT

ABSTRAK

PT. X merupakan salah satu produsen kaca lembaran di Indonesia, dimana produk yang paling banyak diproduksi adalah LNFL 2 mm. Masalah kualitas produksi yang terjadi pada bulan Januari hingga Maret 2015 adalah peningkatan jumlah cacat primer, khususnya *bubble* yang meningkat hingga 321 persen pada bulan Maret. Hal tersebut menyebabkan indeks kapabilitas karakteristik atribut kaca untuk tipe DN dan E sangat rendah, dimana masing-masing bernilai 0,29 dan 0,33. Untuk meningkatkan indeks kapabilitas, dilakukan perbaikan dengan metode *six sigma* dengan hasil perbaikan telah mampu menurunkan jumlah cacat atribut. Sehingga, level sigma atribut kaca tipe DN mengalami kenaikan dari $3,24\sigma$ menjadi $3,46\sigma$ dan untuk tipe E naik dari $3,31\sigma$ menjadi $3,59\sigma$. Kenaikan mengindikasikan bahwa jumlah produk yang berada di luar batas spesifikasi atribut semakin berkurang. Level sigma variabel kaca tipe E juga mengalami kenaikan dari $2,91\sigma$ menjadi $3,52\sigma$. Sebaliknya, level sigma variabel kaca tipe DN mengalami penurunan dari $3,63\sigma$ menjadi $2,98\sigma$. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan berkelanjutan untuk mengidentifikasi penyebab turunnya level sigma variabel kaca tipe DN.

Kata Kunci : *Indeks Kapabilitas Proses, Level Sigma, LNFL, Perbaikan, Six Sigma*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATISTICAL QUALITY CONTROL OF FLAT GLASS TYPE LAMINATED PROCESS PRODUCTION AT PT. X WITH SIX SIGMA METHOD

Name : Niken Dwi Larasati
NRP : 1312 100 109
Department : Statistics FMIPA-ITS
Supervisor : Dra. Lucia Aridinanti, MT

ABSTRACT

PT. X is one of flat glass producer in Indonesia, in which the product that mostly produced is LNFL 2 mm. The quality production problem which appears during January through March 2015 is the increasing number of primary defect, especially bubble which had increased until 321 percent on March. As the result, process capability index of DN and E types attribute characteristics are very low, which are 0,29 dan 0,03 respectively. Based on that problems, several improvements were applied to increase process capability index using six sigma method. The conclusion is the improvements had success to diminish the number of non-conformities. Therefore, attribute sigma level of DN and E type have increased from $3,24\sigma$ to $3,46\sigma$ and from $3,31\sigma$ to $3,59\sigma$ respectively. The increasing of sigma level indicate that the number of products which don't meet specifications are decrease. Variable sigma level of E type have increased from $2,91\sigma$ to $3,52\sigma$. Otherwise, variable sigma level of DN type have decrease from $3,63\sigma$ to $2,98\sigma$. So, continuous improvements to identify potential causes of DN type's decreasing variable sigma level are should be done.

Keywords : Process Capability Index, Sigma Level, LNFL, Improvement, Six Sigma

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI KACA LEMBARAN JENIS *LAMINATED* DI PT. X DENGAN METODE *SIX SIGMA*”** dengan tepat waktu.

Laporan Tugas Akhir dapat terselesaikan dengan baik atas bantuan, motivasi, dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada.

1. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, MT selaku dosen pembimbing dan Ketua Program Studi Strata 1 Jurusan Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas kesabaran, dukungan, saran, dan arahan dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir.
2. Ibu Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT dan Ibu Diaz Fitra Aksioma, S.Si., M.Si selaku dosen penguji atas kritik dan saran yang membangun terhadap penulis.
3. Bapak Dr. Suhartono selaku Ketua Jurusan Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Dr. Sutikno, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang selalu memotivasi dan membimbing selama 7 semester.
5. Seluruh dosen Statistika ITS atas ilmu dan motivasinya terhadap penulis.
6. Keluarga penulis, khususnya Ayah, Ibu, dan Kakak yang selalu mendoakan dan menyemangati, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
7. Agung Budhi, Vela, Andri, Diana, Arina, Tri, Devi, Denis, dan Nela yang telah banyak memberikan saran dan wawasan seputar obyek Tugas Akhir.
8. Sahabat seperjuangan, Riza, Dian, Puput, Eva, Heni, Feby, Ziza, Sekar, Jupita, dan Marta yang selalu berbagi suka cita dan motivasi pada penulis,

9. Teman-teman Statistika ITS Angkatan 2012 (Sigma 23) yang berjuang bersama untuk mencari ilmu di ITS.
10. Keluarga PSt (*Professional Statistics*) HIMASTA-ITS yang kompak selalu.
11. Semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk melengkapi laporan Tugas Akhir ini.

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Analisis Multivariat.....	5
2.1.1 Pengujian Dependensi Antar Variabel.....	5
2.1.2 Pengujian Distribusi Normal Multivariat.....	6
2.1.3 Pengujian Homogenitas Matriks Kovarian.....	7
2.1.4 <i>One Way Multivariate Analysis of Variance</i>	8
2.2 Pengendalian Kualitas Statistik.....	10
2.3 Peta Kendali.....	10
2.3.1 Peta Kendali <i>c</i>	11
2.3.2 Peta Kendali <i>Improved |S|</i>.....	12
2.3.3 Peta Kendali <i>T² Hotelling</i>	14
2.3.4 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>	16
2.4 Uji Proporsi Dua Populasi.....	17
2.5 Analisis Kapabilitas Proses.....	18
2.6 Diagram Pareto.....	20
2.7 Diagram Sebab Akibat.....	20
2.8 <i>Six Sigma</i>	21

	Halaman
2.9 Proses Produksi Lembaran Kaca	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Tahap <i>Measure</i>	29
3.2 Tahap <i>Analyze</i>	32
3.3 Tahap <i>Improve</i>	33
3.4 Tahap <i>Control</i>	33
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Tahap <i>Analyze</i>	37
4.1.1 Analisis Kapabilitas Atribut LNFL Tipe DN	38
4.1.2 Analisis Kapabilitas Variabel LNFL Tipe DN	41
4.1.3 Analisis Kapabilitas Atribut LNFL Tipe E	46
4.1.4 Analisis Kapabilitas Variabel LNFL Tipe E	48
4.2 Tahap <i>Improve</i>	52
4.3 Tahap <i>Control</i>	53
4.3.1 Identifikasi Pergeseran Proses	53
4.3.2 Analisis Kapabilitas Atribut LNFL	56
4.3.3 Analisis Kapabilitas Variabel LNFL	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77
BIODATA PENULIS	133

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Diagram Pareto	20
Gambar 2.2	Diagram Sebab Akibat	21
Gambar 2.3	Peta Proses Operasi (PPO) Pembuatan Kaca	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 4.1	Peta Kendali c LNFL Tipe DN Periode I.....	37
Gambar 4.2	Diagram Pareto LNFL Tipe DN Periode I.....	39
Gambar 4.3	Diagram Sebab Akibat Jenis Cacat <i>Bubble</i>	40
Gambar 4.4	Peta Kendali <i>Improved</i> $|S|$ Tipe DN Periode I.....	43
Gambar 4.5	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tipe DN Periode I.....	44
Gambar 4.6	Diagram Sebab Akibat Variabel Kerataan Permukaan Kaca.....	45
Gambar 4.7	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> LNFL Tipe DN Perbaikan Pertama.....	45
Gambar 4.8	Peta Kendali c LNFL Tipe E Periode I.....	47
Gambar 4.9	Diagram Pareto LNFL Tipe E Periode I.....	47
Gambar 4.10	Peta Kendali <i>Improved</i> $|S|$ Tipe E Periode I.....	49
Gambar 4.11	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tipe E Periode I.....	49
Gambar 4.12	Diagram Sebab Akibat Variabel Ketebalan Kaca.....	50
Gambar 4.13	Diagram Sebab Akibat Variabel Zebra.....	50
Gambar 4.14	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tipe E Perbaikan Pertama	51
Gambar 4.15	Peta Kendali c LNFL Tipe DN Periode II	56
Gambar 4.16	Diagram Pareto LNFL Tipe DN Periode II.....	56
Gambar 4.17	Diagram Sebab Akibat Jenis Cacat <i>Other</i>	57
Gambar 4.18	Peta Kendali c Tipe DN Perbaikan Pertama	58
Gambar 4.19	Peta Kendali c LNFL Tipe E Periode II.....	59
Gambar 4.20	Diagram Pareto LNFL Tipe E Periode II.....	59
Gambar 4.21	Peta Kendali c LNFL Tipe E Perbaikan Pertama.....	59
Gambar 4.22	Peta Kendali <i>Improved</i> $|S|$ Tipe DN Periode II... ..	61
Gambar 4.23	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tipe DN Periode II.....	62
Gambar 4.24	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Tipe DN Perbaikan Pertama	62
Gambar 4.25	Peta Kendali <i>Improved</i> $|S|$ Tipe E Periode II	64

Gambar 4.26	Peta Kendali <i>Improved |S|</i> Tipe E Perbaikan Pertama	64
Gambar 4.27	Peta Kendali T^2 Hotelling Tipe E Periode II	64
Gambar 4.28	Peta Kendali T^2 Hotelling Tipe E Perbaikan Pertama	65
Gambar 4.29	Peta Kendali T^2 Hotelling Tipe E Perbaikan Kedua	66
Gambar 4.30	Diagram Batang Jumlah Cacat Atribut Produk LNFL	68
Gambar 4.31	Diagram Batang Jumlah Cacat Variabel Produk LNFL	68
Gambar 4.32	<i>Scatterplot</i> Ketebalan dan Kerataan LNFL Tipe DN Periode I dan II	70
Gambar 4.33	<i>Scatterplot</i> Ketebalan dan Zebra LNFL Tipe DN Periode I dan II	70
Gambar 4.34	<i>Scatterplot</i> Kerataan dan Zebra LNFL Tipe DN Periode I dan II	70
Gambar 4.35	<i>Scatterplot</i> Ketebalan dan Kerataan LNFL Tipe E Periode I dan II	71
Gambar 4.36	<i>Scatterplot</i> Ketebalan dan Zebra LNFL Tipe E Periode I dan II	71
Gambar 4.37	<i>Scatterplot</i> Kerataan dan Zebra LNFL Tipe E Periode I dan II	71

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1	Struktur Data untuk Peta kendali T^2 Hotelling.....	16
Tabel 2.2	Level Sigma Konsep Motorola	24
Tabel 3.1	Struktur Data untuk Karakteristik Atribut	31
Tabel 3.2	Struktur Data untuk Karakteristik Variabel	34
Tabel 4.1	Statistika Deskriptif Karakteristik Atribut Periode I..	37
Tabel 4.2	Statistika Deskriptif Karakteristik Variabel Periode I	37
Tabel 4.3	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut LNFL Tipe DN Periode I.....	46
Tabel 4.4	Hasil Uji Dependensi LNFL Tipe DN Periode I.....	41
Tabel 4.5	Hasil Uji Normal Multivariat Tipe DN Periode I	42
Tabel 4.6	Hasil Dekomposisi LNFL Tipe DN Periode I	44
Tabel 4.7	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel LNFL Tipe DN Periode I.....	48
Tabel 4.8	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut LNFL Tipe E Periode I.....	48
Tabel 4.9	Hasil Dekomposisi LNFL Tipe E Periode I.....	49
Tabel 4.10	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel Tipe E Periode I.....	52
Tabel 4.11	Hasil Uji Proporsi Dua Populasi.....	53
Tabel 4.12	Hasil Uji Homogenitas Matriks Kovarian	54
Tabel 4.13	Hasil Uji MANOVA Satu Arah.....	54
Tabel 4.14	Statistika Deskriptif Karakteristik Atribut Periode II	55
Tabel 4.15	Statistika Deskriptif Karakteristik Variabel Periode II	55
Tabel 4.16	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut LNFL Tipe DN Periode II.....	58
Tabel 4.17	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut LNFL Tipe E Periode II.....	60
Tabel 4.18	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut LNFL Periode I dan II	60
Tabel 4.19	Hasil Dekomposisi LNFL Tipe DN Periode II	62
Tabel 4.20	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel Tipe DN Periode II.....	63
Tabel 4.21	Hasil Dekomposisi LNFL Tipe E Periode II	65

Tabel 4.22	Hasil Dekomposisi LNFLTipe E Perbaikan Pertama	65
Tabel 4.23	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel Tipe E Periode II.....	66
Tabel 4.24	Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel LNFL Periode I dan II	66
Tabel 4.25	Jumlah Cacat dan Ketidaksesuaian Spesifikasi Periode I dan II	67
Tabel 4.26	Perbandingan Dependensi Periode I dan II.....	69

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran A	Data Karakteristik Atribut Kaca Tipe DN	77
Lampiran B	Data Karakteristik Atribut Kaca Tipe E	82
Lampiran C	Data Karakteristik Variabel Kaca Tipe DN	99
Lampiran D	Data Karakteristik Variabel Kaca Ekspor	103
Lampiran E	Diagram <i>Pie</i>	113
Lampiran F	Diagram Batang Karakteristik Atribut Periode Pertama	114
Lampiran G	Perhitungan Kapabilitas Atribut LNFL Tipe DN	115
Lampiran H	Perhitungan Level Sigma Atribut Tipe DN	115
Lampiran I	Hasil Uji Dependensi LNFL Tipe DN	116
Lampiran J	Makro Minitab Uji Normal Multivariat	116
Lampiran K	Hasil Uji Distribusi Normal Multivariat Tipe DN	117
Lampiran L	Sintak Matlab untuk Peta Kendali <i>Improved |S|</i>..	118
Lampiran M	Perhitungan Dekomposisi Tipe DN Periode I.....	121
Lampiran N	Perhitungan Kapabilitas Variabel Tipe DN	122
Lampiran O	Perhitungan Level Sigma Variabel Tipe DN	122
Lampiran P	Perhitungan Kapabilitas Atribut LNFL Tipe E...	123
Lampiran Q	Perhitungan Level Sigma Atribut LNFL Tipe E.	123
Lampiran R	Hasil Uji Dependensi LNFL Tipe E	124
Lampiran S	Hasil Uji Distribusi Normal Multivariat Tipe E...	124
Lampiran T	Perhitungan Kapabilitas Variabel LNFL Tipe E.	125
Lampiran U	Perhitungan Level Sigma Variabel LNFL Tipe E	125
Lampiran V	Tabel Konversi Six Sigma	126
Lampiran W	Hasil Uji Homogenitas Matrik Kovarian	131
Lampiran X	Perhitungan Level Sigma Variabel Kaca Tipe E	132
Lampiran Y	Hasil Uji MANOVA Satu Arah	132

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri non migas merupakan salah satu sektor yang mengalami pertumbuhan dari tahun ke tahun di Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari kontribusi sektor tersebut terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia pada tahun 2009 hingga 2013 yang cenderung mengalami kenaikan (Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, 2014). Kaca lembaran (*flat glass*) merupakan salah satu komoditi yang berpengaruh terhadap tingginya kontribusi tersebut dengan kapasitas produksi mencapai 1,45 juta ton pada tahun 2014. Kaca lembaran adalah produk setengah jadi yang dapat diolah menjadi berbagai produk, misalnya kaca bening (*clear float glass*), kaca berwarna (*tinted float glass*), dan cermin. Menurut Kementerian Perindustrian (2014), perkembangan industri kaca lembaran bergantung pada pertumbuhan industri otomotif dan properti. Sektor properti, baik perumahan maupun gedung komersil berkontribusi sebesar 75 persen dari total penjualan kaca lembaran, dan 25 persen sisanya dikonsumsi oleh sektor otomotif.

PT. X merupakan salah satu produsen kaca lembaran di Indonesia. Kaca yang dihasilkan PT. X tidak hanya dikonsumsi oleh masyarakat dalam negeri, namun juga diekspor ke kawasan Asia. PT. X memproduksi *flat glass* dengan dua jenis kaca, yaitu kaca *glazing* dan *automotive*. Kaca *Automotive* adalah jenis kaca yang paling banyak diproduksi dan biasa digunakan pada mobil. Banyaknya produksi kaca *automotive* disebabkan oleh semakin tingginya penggunaan mobil di Indonesia. Menurut Badan Pusat Statistik (2014), terjadi kenaikan jumlah mobil di Indonesia dari tahun 2005 hingga 2013 dengan total sekitar 2,286 juta mobil pada tahun 2013. Hal ini berakibat langsung pada naiknya jumlah permintaan pada kaca *automotive*. Kaca *Automotive* terdiri dari dua macam, yaitu kaca *tempered* dan *laminated*. Salah satu jenis kaca *laminated* yang paling banyak diproduksi oleh PT. X adalah LNFL 2 mm. Kode L memiliki arti *Light*, N adalah kode warna

Green, FL berarti *clear float glass*, dan 2 mm merupakan ketebalan kacanya

Kualitas adalah hal krusial yang menjadi tolak ukur dari proses produksi suatu barang atau jasa. Menurut Kotler (2009), kualitas adalah seluruh ciri dan sifat suatu produk atau pelayanan yang berpengaruh pada kemampuan untuk memuaskan kebutuhan yang dinyatakan atau yang tersirat. Suatu produk harus dijaga kualitasnya agar dapat bertahan dalam persaingan industri dan konsumen tidak beralih ke *merk* yang lain. Oleh karena itu, PT. X selalu berusaha menjaga kualitas produknya dengan melakukan pengendalian kualitas sehingga perusahaan dapat memenuhi kebutuhan dan kepuasan konsumen secara optimal. PT. X memiliki departemen *Quality Control* yang selanjutnya disebut QC dimana bertugas untuk menganalisis proses pengadaan bahan baku dan hasil produksi yang akan dipasarkan agar semua produk sesuai dengan standar yang ditetapkan perusahaan. Menurut dokumentasi departemen *Quality Assurance* yang selanjutnya disebut QA, terdapat masalah pada proses produksi *line* produk LNFL 2 mm, yaitu jumlah cacat primer yang cenderung meningkat dari bulan Januari hingga Maret 2015. Adanya peningkatan cacat tersebut akan berakibat pada tertundanya pengiriman produk kepada konsumen karena produk yang cacat atau tidak memenuhi spesifikasi perusahaan akan ditolak dan dilakukan pengerjaan ulang. Hal tersebut mengakibatkan kerugian bagi perusahaan, baik dalam hal finansial, tenaga, maupun waktu

Pengendalian kualitas statistik yang telah diterapkan oleh departemen QC pada karakteristik atribut masih sebatas perhitungan jumlah dan rasio cacat. Sedangkan pada karakteristik variabel, hanya diterapkan analisis kapabilitas proses menggunakan indeks C_{pk} secara univariat. Hal tersebut dapat mengarah pada kesimpulan yang salah karena kualitas kaca LNFL 2 mm diukur dari beberapa variabel yang saling berhubungan, sehingga diperlukan analisis secara multivariat. Untuk mengatasi permasalahan cacat produk, departemen QC telah menerapkan langkah perbaikan tiap bulan dan secara insidental pada *setting* mesin

furnace. Namun belum dilakukan evaluasi terhadap perbaikan yang telah diterapkan, sehingga tidak diketahui ada tidaknya dampak dari perbaikan tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi menggunakan pendekatan *six sigma* untuk menganalisis hasil pengukuran periode pertama dan kedua.

Penelitian dengan menerapkan pendekatan *six sigma* telah dilakukan oleh Cahyani (2015) pada pengendalian kualitas pengantungan semen yang memakai *tools* peta *p* multivariat dan didapatkan hasil adanya kenaikan level sigma dari $4,10\sigma$ menjadi $4,12\sigma$. Selanjutnya, Qomariyah (2015) menerapkan *six sigma* dalam pengendalian kualitas tepung terigu dengan menerapkan *tools* peta T^2 Hotelling dan *Generalized Variance* dimana didapatkan hasil adanya penurunan level sigma dari $3,97\sigma$ menjadi $3,02\sigma$. Pramudita (2015) menerapkan *six sigma* pada pengendalian kualitas casing pompa dengan *tools attribute agreement analysis* dan peta kendali *p* dimana didapatkan kesimpulan bahwa sistem pengukuran sudah baik dan level sigma terendah dimiliki oleh area *dipping* yaitu $3,25\sigma$. Pada tahun 2014, Zahрати juga menerapkan *six sigma* pada proses produksi minuman berkarbonasi dengan *tools* peta kendali I-MR dengan hasil level sigma belum kapabel dan proses belum terkendali.

1.2 Rumusan Masalah

Tahap pertama dalam *six sigma* adalah *define*, yaitu tahap untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi dan menentukan tujuan. PT. X memproduksi kaca produk LNFL tipe Dalam Negeri yang selanjutnya disebut dengan tipe DN dan Ekspor yang selanjutnya disebut dengan tipe E. Pada periode Januari hingga Maret 2015, terjadi peningkatan jumlah cacat *bubble*, yaitu sebanyak 321 persen pada bulan Maret jika dibandingkan dengan bulan sebelumnya. Hal tersebut menyebabkan penundaan pengiriman dan penolakan produk LNFL baik tipe DN maupun E. Peningkatan jumlah cacat menyebabkan indeks kapabilitas proses menjadi rendah. Kapabilitas LNFL tipe DN sebesar $0,29$ dengan level sigma $3,2\sigma$. Sedangkan indeks kapabilitas LNFL tipe E sebesar $0,33$ dengan level sigma $3,3\sigma$. Indeks kapabilitas adalah

suatu indikator yang menunjukkan seberapa baik proses dalam memenuhi batas spesifikasi. Nilai indeks kapabilitas kurang dari satu berarti bahwa banyak produk yang di luar batas spesifikasi. Karena kapabilitas dan level sigma proses produksi masih sangat rendah, maka perlu dilakukan perbaikan proses. Oleh karena itu, dilakukan analisis dengan pendekatan *six sigma* untuk mengetahui ada tidaknya perubahan setelah dilakukan perbaikan proses.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin diperoleh berdasarkan rumusan masalah di atas adalah meningkatkan indeks kapabilitas dan level sigma proses produksi produk LNFL baik tipe DN maupun E.

1.4 Manfaat

Hasil analisis dalam penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perusahaan, antara lain sebagai informasi mengenai kapabilitas dan level sigma proses produksi produk LNFL yang telah berjalan selama ini dan sebagai informasi tentang ada tidaknya perubahan indeks kapabilitas dan level sigma setelah dilakukan perbaikan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis pengendalian kualitas hanya dilakukan pada kaca *laminated* jenis LNFL 2 mm baik tipe DN maupun E pada bulan 15 Januari-11 Oktober 2015.
2. Karakteristik atribut yang diteliti hanya pada jenis *primary defect*. Sedangkan karakteristik variabel yang diteliti adalah ketebalan kaca, kerataan permukaan kaca, dan zebra.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Metode yang digunakan untuk menganalisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.1 Analisis Multivariat

Analisis multivariat merupakan analisis statistika yang digunakan pada pengamatan yang memiliki lebih dari satu variabel, dimana antar variabel tersebut saling berkorelasi. Teknik analisis multivariat secara dasar diklasifikasikan menjadi dua, yaitu analisis dependensi dan interdependensi. Analisis dependensi berfungsi untuk menerangkan atau memprediksi variabel respon menggunakan dua atau lebih variabel prediktor, sedangkan analisis interdependensi berfungsi untuk menerangkan atau memprediksi variabel yang tidak saling tergantung menggunakan dua atau lebih variabel bebas (Hair dkk., 2010). Ada dua asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis multivariat, yaitu data pengamatan harus berdistribusi Normal Multivariat dan adanya interdependensi antar variabel.

2.1.1 Pengujian Dependensi Antar Variabel

Salah satu asumsi yang harus dipenuhi dalam analisis multivariat adalah adanya hubungan (korelasi) antar variabel, dimana jika variabel x_1, x_2, \dots, x_p bersifat saling bebas, maka matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas (Morrison, 2005). Prosedur pengujian yang digunakan untuk mengidentifikasi ada tidaknya dependensi antar variabel dengan prosedur pengujian seperti berikut.

Hipotesis :

$$H_0 : \rho = \mathbf{I}$$

$$H_1 : \rho \neq \mathbf{I}$$

Statistik uji :

$$\chi_{hitung}^2 = - \left(N - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right) \ln |\mathbf{R}| \quad (2.1)$$

dengan

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$r_{jk} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^m x_{ijk} x_{ijk} - (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p x_{ijk})(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk})}{\sqrt{\left\{ n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^m x_{ijk}^2 - (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^m x_{ijk})^2 \right\}} \sqrt{\left\{ n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^m x_{ijk}^2 - (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^m x_{ijk})^2 \right\}}}$$

Keterangan :

r_{jk} = Nilai korelasi antar karakteristik kualitas

x_{ijk} = Nilai pengamatan ke-i, karakteristik kualitas ke-j, subgrup ke-k

i = 1, 2, ..., n ; n = ukuran subgrup

j = 1, 2, ..., p ; p = jumlah karakteristik kualitas

k = 1, 2, ..., m ; m = jumlah subgrup

R = Matriks korelasi dari masing-masing karakteristik kualitas.

Data yang digunakan merujuk pada Tabel 2.1. H_0 ditolak jika $\chi_{hitung}^2 > \chi_{\alpha, \frac{1}{2}p(p-1)}^2$ atau $p\text{-value} < \alpha$, yang berarti terdapat hubungan antar variabel, sehingga analisis multivariat layak untuk digunakan.

2.1.2 Pengujian Distribusi Normal Multivariat

Distribusi Normal Multivariat merupakan suatu distribusi yang diperoleh dari perluasan distribusi Normal Univariat, dimana perbedaannya dilihat dari dimensinya. Pada distribusi Normal Univariat, dimensi yang digunakan adalah 1 ($p=1$). Sedangkan untuk Normal Multivariat dimensi yang digunakan minimal 2 ($p \geq 2$) (Johnson & Winchern, 2007). Jika terdapat sejumlah p variabel yang dinyatakan dalam bentuk vektor $X' = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ yang mengikuti distribusi Normal Multivariat, maka fungsi kepadatan probabilitasnya sebagai berikut.

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\Sigma|^{1/2}} e^{-(x-\mu)'\Sigma^{-1}(x-\mu)/2}; -\infty < x_i < \infty \quad (2.3)$$

dengan $-\infty < x_i < \infty, i = 1, 2, \dots, p$ dan matriks kovariannya adalah sebagai berikut.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \cdots & \sigma_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{p1} & \cdots & \sigma_{pp} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Ada dua cara untuk mengidentifikasi apakah data pengamatan berdistribusi Normal Multivariat atau tidak. Cara pertama adalah secara deskriptif dengan menghitung proporsi *square distance* (d_j^2) dan membuat *q-q plot*. Cara kedua adalah secara inferensia yaitu menggunakan uji signifikansi koefisien korelasi *q-q plot* dengan prosedur pengujian sebagai berikut (Johnson & Winchern, 2007).

Hipotesis :

H_0 : Data memenuhi asumsi distribusi Normal Multivariat

H_1 : Data tidak memenuhi asumsi distribusi Normal Multivariat
Statistik uji :

$$r_Q = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{.j.})(q_{ijk} - \bar{q}_{.j.})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{.j.})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_{ijk} - \bar{q}_{.j.})^2}} \quad (2.5)$$

Data yang digunakan merujuk pada Tabel 2.1. Jika $r_Q < r_{(n,\alpha)}$ maka H_0 ditolak, yang berarti bahwa data tidak berdistribusi Normal Multivariat. Pada laporan ini hanya dilakukan identifikasi distribusi secara inferensia dengan $\alpha = 5\%$ karena pada cara inferensia terdapat tingkat keyakinan dan signifikansi.

2.1.3 Pengujian Homogenitas Matriks Kovarian

Asumsi lain yang harus dipenuhi dalam analisis *One Way Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA Satu Arah) adalah kesamaan matriks kovarians (Σ) antar populasi pada variabel dependen (Johnson & Winchern, 2007). Statistik uji *Box's M* adalah statistik uji yang digunakan untuk mengidentifikasi homogen tidaknya matriks kovarian dengan prosedur pengujian sebagai berikut.

Hipotesis :

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g = \Sigma$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_i \neq \Sigma_l ; i, l = 1, 2, \dots, g$$

Statistik uji :

$$C = (1 - u)M \quad (2.6)$$

dengan

$$S_{pooled} = \frac{1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} \{ (n_1 - 1)S_1 + \dots + (n_g - 1)S_g \}$$

$$u = \left[\sum_{l=1}^g \frac{1}{n_l - 1} - \frac{1}{\sum_{l=1}^g (n_l - 1)} \right] \left[\frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p + 1)(g - 1)} \right] \quad (2.7)$$

$$M = \left[\sum_{l=1}^g (n_l - 1) \right] \ln |S_{pooled}| - \sum_{l=1}^g [(n_l - 1) \ln |S_l|]$$

Jumlah populasi sebanyak g dan karakteristik sebanyak p . Jika nilai $C \geq \chi^2_{\alpha, \frac{1}{2}(k-1)p(p+1)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$, maka H_0 ditolak, yang berarti bahwa matriks kovarian antar populasi tidak homogen. Namun jika ukuran sampel untuk tiap kelompok sama, maka uji MANOVA Satu Arah tetap dapat dilakukan walaupun tidak memenuhi asumsi homogenitas matriks kovarian (Johnson & Winchern, 2007). Data yang digunakan merujuk pada Tabel 2.1.

2.1.4 One Way Multivariate Analysis of Variance

Uji *One Way Multivariate Analysis of Variance* atau sering disebut dengan uji MANOVA Satu Arah adalah suatu uji yang digunakan untuk membandingkan dua populasi yang variabelnya multivariat. Oleh karena itu, digunakan statistik uji *Wilks' Lambda* yang merupakan rasio antara jumlah kuadrat dalam kelompok (*within group sum of square*) dan jumlah kuadrat total (*total sum of square*). Nilai lambda berkisar antara 0 hingga 1 dimana jika nilainya mendekati 1 menunjukkan bahwa rata-rata grup cenderung tidak berbeda. Sebaliknya, jika nilainya mendekati 0 menunjukkan bahwa rata-rata grup berbeda. Ada

beberapa asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan uji MANOVA Satu Arah, antara lain.

1. Antar vektor observasi pada setiap populasi dan antar populasi adalah independen.
2. Berdistribusi Normal Multivariat.
3. Matriks kovarians antarpopulasi bersifat homogen.

Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut (Johnson & Winchern, 2007).

Hipotesis :

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_g = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada 1 } \tau_l \neq 0, l = 1, 2, \dots, g$$

Statistik uji :

$$\Lambda^* = \frac{|W|}{|B + W|} = \frac{\sum_{l=1}^g \sum_{j=1}^{n_l} (x_{ijk} - \bar{x}_l)(x_{ijk} - \bar{x}_l)'}{\sum_{l=1}^g \sum_{j=1}^{n_l} (x_{ijk} - \bar{x})(x_{ijk} - \bar{x})'} \quad (2.8)$$

Keterangan :

W = Matriks varian kovarian dalam kelompok

B = Matriks varian kovarian antar kelompok

Tabel 2.1 Statistik Uji untuk MANOVA Satu Arah

<i>Number of Variables</i>	<i>Number of groups</i>	<i>Sampling Distribution for Multivariate Normal Data</i>
$p = 1$	$g \geq 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - g}{g-1} \right) \left(\frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \sim F_{(g-1), \sum n_l - g}$
$p = 2$	$g \geq 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - g - 1}{g-1} \right) \left(\frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\sqrt{\Lambda^*}} \right) \sim F_{2(g-1), 2(\sum_{l=1}^g n_l - g - 1)}$
$p \geq 1$	$g = 2$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - p - 1}{p} \right) \left(\frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \sim F_{p, \sum_{l=1}^g n_l - p - 1}$
$p \geq 1$	$g = 3$	$\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - p - 2}{p} \right) \left(\frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\sqrt{\Lambda^*}} \right) \sim F_{2p, 2(\sum_{l=1}^g n_l - p - 2)}$

Statistik uji yang digunakan adalah $\left(\frac{\sum_{l=1}^g n_l - p - 1}{p} \right) \left(\frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right)$ karena dalam penelitian ini digunakan 2 periode data dan tiga variabel. Jika statistik uji *Wilks' Lambda* > nilai tabel $F_{p, \sum_{l=1}^g n_l - p - 1}$ atau *p value* < α , maka H_0 ditolak, yang berarti bahwa terdapat perbedaan-

an rata-rata pada periode pertama dan kedua. Data yang digunakan merujuk pada Tabel 2.1.

2.2 Pengendalian Kualitas Statistik

Pengendalian kualitas statistik atau yang sering disebut dengan PKS adalah suatu metode untuk mengevaluasi kualitas suatu produk hasil proses produksi dengan menggunakan metode-metode statistik (Montgomery, 2009). Tujuan dari PKS adalah menyelidiki secara cepat terjadinya sebab-sebab terduga atau pergeseran proses sedemikian hingga tindakan pembetulan dapat dilakukan sebelum terlalu banyak unit yang tak sesuai diproduksi. Pada PKS dikenal beberapa alat statistik yang sering digunakan untuk mengontrol dan memonitor kualitas proses, yang sering disebut dengan *Seven Tools (The Magnificent Seven)*. Dalam penelitian ini, *tools* PKS yang digunakan adalah peta kendali, analisis kapabilitas proses, dan uji proporsi dua populasi.

2.3 Peta Kendali

Peta kendali atau *control chart* adalah sebuah grafik yang memberikan gambaran tentang perilaku sebuah proses. Peta kendali pertama kali ditemukan oleh Dr. Walter Shewhart pada tahun 1924. Salah satu kegunaan dari peta kendali adalah untuk mengawasi kualitas suatu produk yang digunakan untuk membuat batas-batas dimana hasil produksi menyimpang dari mutu yang diinginkan atau tidak (Montgomery, 2009). Peta kendali terdiri dari batas kendali atas dan bawah serta garis tengah yang merupakan nilai rata-rata karakteristik kualitas. Suatu proses dikatakan terkendali secara statistik (*in control*) jika titik-titik pengamatan berada di dalam batas kendali dan memiliki pola yang acak.

Peta kendali terdiri dari beberapa macam jenis. Jika berdasarkan pada jenis data yang diamati, peta kendali terbagi menjadi dua, yaitu peta kendali atribut dan variabel. Peta kendali atribut digunakan untuk memonitor proses dari data yang bersifat diskrit, dimana dalam laporan ini dibedakan menjadi cacat dan tidak cacat). Sedangkan peta kendali variabel digunakan untuk memonitor proses dari data yang bersifat kontinu. Selanjutnya,

jika berdasarkan banyaknya karakteristik kualitas yang diamati, peta kendali, baik peta kendali atribut maupun variabel dibagi menjadi dua, yaitu peta kendali univariat dan multivariat. Peta kendali univariat digunakan jika monitoring proses hanya menggunakan satu karakteristik kualitas. Sedangkan jika monitoring proses dilakukan pada lebih dari satu karakteristik kualitas secara bersama-sama, maka digunakan peta kendali multivariat. Dalam prakteknya, kebanyakan kualitas produk diukur dari beberapa karakteristik kualitas yang saling berkorelasi. Walaupun peta kendali univariat dapat digunakan untuk masing-masing variabel, namun hal tersebut kurang efisien dan dapat mengarah pada kesimpulan yang salah (Jarrett, 2013).

2.3.1 Peta Kendali *c*

Produk cacat merupakan produk yang tidak memenuhi satu jenis atau lebih spesifikasi yang diterapkan oleh perusahaan. Sehingga, satu produk cacat akan mengandung minimal satu jenis cacat. Banyak permasalahan nyata dalam dunia industri yang lebih cocok dianalisis dengan meninjau jumlah jenis cacat daripada proporsi cacat. Salah satu peta kendali yang dapat diterapkan jika permasalahan ditinjau dari jenis cacat adalah peta kendali *c*. Peta kendali *c* dapat digunakan jika ukuran subgroup konstan (Montgomery, 2009).

Peta kendali *c* menggunakan distribusi *Poisson* sebagai dasar perhitungan. Pengendalian kualitas dengan peta kendali *c*, diambil sampel berukuran *n* sebanyak *m* kali. Pada setiap subgroup dihitung jumlah jenis cacat, kemudian dibuat peta kendali *c* dengan cara memetakan jumlah jenis cacat setiap subgroup. Jika standar dari proses sebelumnya tidak diketahui, maka batas kendali atas, garis tengah, dan batas kendali bawah dapat dirumuskan sebagai berikut. Data yang digunakan merujuk pada Tabel 3.1.

$$\begin{aligned} BKA &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \\ \text{Garis Tengah} &= \bar{c} \\ BKB &= \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.3.2 Peta Kendali *Improved* $|S|$

Pengendalian kualitas terhadap variabilitas proses sangat penting dilakukan untuk mengetahui terkendali tidaknya proses produksi. Salah satu peta kendali yang digunakan untuk mengevaluasi variabilitas proses pada pengamatan yang bersifat multivariat adalah peta kendali *Improved* $|S|$ (Djauhari, 2005). Peta kendali *improved* $|S|$ dikembangkan dengan prosedur yang berdasar pada penggunaan determinan matriks kovarian sampel (S) berukuran $p \times p$, atau yang dikenal dengan *sample generalized variance* oleh Alt dan Smith dalam Djauhari (2005). Karena merupakan pengembangan dari peta kendali $|S|$ yang diusulkan oleh Alt dan Smith, maka peta kendali yang diusulkan oleh Djauhari ini dikenal sebagai peta kendali *Improved* $|S|$.

Diagonal utama dari matriks adalah varian dari variabel proses secara individual, dan elemen matriks selain diagonal utama adalah nilai kovarian. Nilai $|S|$ dapat diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

$$|S_k| = \begin{vmatrix} S_{k,3}^2 & S_{k,12} & \cdots & S_{k,1j} & \cdots & S_{k,1p} \\ & S_{k,2}^2 & \cdots & S_{k,2j} & \cdots & S_{k,2p} \\ & & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ & & & S_{k,j}^2 & \cdots & S_{k,jp} \\ & & & & \ddots & \vdots \\ & & & & & S_{k,p}^2 \end{vmatrix} \quad (2.10)$$

dengan

$$S_{i,j}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^m (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2 \quad (2.11)$$

$$S_{i,jp} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^m (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})(x_{ipk} - \bar{x}_{ip})$$

Jika didapatkan nilai BKB bernilai negatif, maka BKB yang digunakan adalah 0 karena nilai varian suatu proses tidak mungkin negatif. Titik yang diplotkan pada peta kendali $|S|$ adalah $|S|$ dari masing-masing subgroup. Suatu proses dikatakan

telah terkendali secara statistik jika semua titik pengamatannya berada dalam batas kendali 3σ dan memiliki pola acak. Dalam pembuatan peta kendali $|\mathbf{S}|$ digunakan *mean* dan *varians* dari *sample generalized variance* dan sebagian properti distribusi dari $|\mathbf{S}|$ yang terkandung dalam interval $E(|\mathbf{S}|) \pm 3\sqrt{\text{Var}(|\mathbf{S}|)}$. *Mean* dan *varians* dari $|\mathbf{S}|$ adalah sebagai berikut (Djauhari, 2009).

$$\begin{aligned} E(|\mathbf{S}|) &= b_3 |\mathbf{\Sigma}| \\ \text{Var}(|\mathbf{S}|) &= b_4 |\mathbf{\Sigma}|^2 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Batas kendali yang digunakan dalam pembuatan peta kendali $|\mathbf{S}|$ untuk pengamatan subgrup adalah seperti berikut.

$$\begin{aligned} BKA &= |\bar{\mathbf{S}}| \left(\frac{b_1}{b_3} + 3 \sqrt{\frac{b_2}{b_3^2 + b_4}} \right) \\ \text{Garis Tengah} &= |\bar{\mathbf{S}}| \left(\frac{b_1}{b_3} \right) \\ BKB &= \max \left(0, |\bar{\mathbf{S}}| \left(\frac{b_1}{b_3} - 3 \sqrt{\frac{b_2}{b_3^2 + b_4}} \right) \right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

dengan

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \\ b_2 &= \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[\prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right] \\ b_3 &= \frac{1}{\{m(n-1)\}^p} \prod_{j=1}^p \{m(n-1)-j+1\} \\ b_4 &= \frac{1}{\{m(n-1)\}^{2p}} \prod_{j=1}^p \{m(n-1)-j+1\} x \\ &\quad \left[\prod_{j=1}^p \{m(n-1)-j+3\} - \prod_{j=1}^p \{m(n-1)-j+1\} \right] \end{aligned} \quad (2.14)$$

2.3.3 Peta Kendali T^2 Hotelling

Peta kendali T^2 Hotelling merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan *mean* suatu proses multivariat. Menurut Montgomery (2009), peta kendali T^2 Hotelling memiliki performa yang baik jika jumlah variabel proses tidak terlalu banyak, yaitu ≤ 10 variabel. Jika jumlah variabel terlalu banyak, peta kendali akan kehilangan keefisiensiannya untuk mendeteksi pergeseran proses. Jika peta kendali diterapkan secara univariat padahal ada lebih dari satu variabel kualitas pada suatu produk dimana variabel-variabel tersebut saling berhubungan, maka akan memberikan hasil yang kurang tepat. Peta kendali T^2 Hotelling dapat digunakan pada data subgroup maupun data individu, namun dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data subgroup. Oleh karena itu, yang akan dijelaskan secara rinci adalah peta kendali T^2 Hotelling untuk data subgroup. Menurut Montgomery (2009), persamaan peta kendali T^2 Hotelling untuk data subgroup dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$T^2 = n(\bar{x}_{.jk} - \bar{\bar{x}}_{.j})' S^{-1} (\bar{x}_{.jk} - \bar{\bar{x}}_{.j}) \quad (2.15)$$

Dengan

$$\begin{aligned} \bar{x}_{.jk} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \\ S_{.jk} &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{.jk})^2 \\ S_{.j}^2 &= \frac{\sum_{k=1}^m S_{.jk}^2}{m} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Keterangan :

$\bar{x}_{.jk}$ = Vektor rata-rata tiap subgroup

$\bar{\bar{x}}_{.j}$ = Vektor rata-rata tiap karakteristik kualitas

x_{ijk} = Pengamatan ke-i pada karakteristik kualitas ke-j dan subgroup ke-k

i = Jumlah sampel atau ukuran subgroup sejumlah n

j = Jumlah karakteristik kualitas sejumlah p

k = Jumlah subgrup sejumlah m.

Matriks kovarian \mathbf{S} dari rata-rata sampel berukuran $p \times p$ adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{.1.}^2 & S_{.12} & \cdots & S_{.1p} \\ S_{.12} & S_{.2.}^2 & \cdots & S_{.2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{.1p} & S_{.2p} & \cdots & S_{.p.}^2 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Terdapat dua fase pada batas kendali dalam penelitian ini, yaitu fase I dan II. Fase I disebut dengan *retrospective analysis* yang bertujuan untuk mendapatkan pengamatan yang berada pada batas kendali, sehingga batas kendali tersebut dapat digunakan untuk fase II. Selain mendapatkan batas kendali, maktriiks kovarian dari fase I juga akan digunakan pada fase II. Fase II merupakan monitoring produksi pada periode selanjutnya (Alt, 1985). Batas kendali untuk fase I adalah sebagai berikut.

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (2.18)$$

$$BKB = 0$$

Batas kendali pada fase II adalah sebagai berikut.

$$BKA = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (2.19)$$

$$BKB = 0$$

Keterangan :

p = Banyaknya karakteristik kualitas

m = Ukuran subgrup

n = Ukuran sampel.

Nilai $F_{\alpha,p,mn-m-p+1}$ didapatkan dari tabel distribusi F dengan α yang ditetapkan oleh peneliti, yaitu 5% dan derajat bebas $mn - m - p + 1$. Jumlah subgrup yang digunakan pada fase I selalu lebih dari 20 subgrup dan sering lebih dari 50 subgrup (Lowry & Montgomery dalam Montgomery, 2009). Struktur data untuk pembuatan peta kendali $T^2_{Hotelling}$ data subgrup dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Struktur Data untuk Peta kendali T^2 Hotelling

Subgrup (m)	Ukuran subgrup (n)	Karakteristik Kualitas Variabel (j)				
		X_1	...	X_j	...	X_p
1	1	X_{111}	...	X_{1j1}	...	X_{1p1}
	\vdots	\vdots	\backslash	\vdots	\backslash	\vdots
	i	X_{i11}	...	X_{ij1}	...	X_{ip1}
	\vdots	\vdots	\backslash	\vdots	\backslash	\vdots
	n	X_{n11}	...	X_{nj1}	...	X_{np1}
	\bar{X}	$\bar{X}_{.11}$	\backslash	$\bar{X}_{.j1}$	\backslash	$\bar{X}_{.p1}$
	S^2	$S^2_{.11}$	...	$S^2_{.j1}$	...	$S^2_{.p1}$
\vdots	\vdots	\vdots	\backslash	\vdots	\backslash	\vdots
k	1	X_{11k}	...	X_{1jk}	...	X_{1pk}
	\vdots	\vdots	\backslash	\vdots	\backslash	\vdots
	i	X_{i1k}	...	X_{ijk}	...	X_{ipk}
	\vdots	\vdots	\backslash	\vdots	\backslash	\vdots
	n	X_{n1k}	...	X_{njk}	...	X_{npk}
	\bar{X}	$\bar{X}_{.1k}$	\backslash	$\bar{X}_{.jk}$	\backslash	$\bar{X}_{.pk}$
	S^2	$S^2_{.1k}$	...	$S^2_{.jk}$	...	$S^2_{.pk}$
\vdots	\vdots	\vdots	\backslash	\vdots	\backslash	\vdots
m	1	X_{11m}	...	X_{1jm}	...	X_{1pm}
	\vdots	\vdots	\backslash	\vdots	\backslash	\vdots
	i	X_{i1m}	...	X_{ijm}	...	X_{ipm}
	\vdots	\vdots	\backslash	\vdots	\backslash	\vdots
	n	X_{n1m}	...	X_{njm}	...	X_{npm}
	\bar{X}	$\bar{X}_{.1m}$	\backslash	$\bar{X}_{.jm}$	\backslash	$\bar{X}_{.pm}$
	S^2	$S^2_{.1m}$	...	$S^2_{.jm}$	...	$S^2_{.pm}$
Rata-rata keseluruhan		$\bar{\bar{X}}_{.1.}$	\backslash	$\bar{\bar{X}}_{.j.}$	\backslash	$\bar{\bar{X}}_{.p.}$
Varian keseluruhan		$S^2_{.1.}$	...	$S^2_{.j.}$	...	$S^2_{.p.}$

2.3.4 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control*

Penentuan variabel penyebab *out of control* dapat dilakukan dengan menggunakan metode dekomposisi nilai statistik uji T^2 Hotelling, yaitu dengan menghitung selisih antara nilai T^2 dengan nilai T_j^2 , atau dapat dinyatakan dengan rumus seperti berikut (Montgomery, 2009).

$$d_j = T^2 - T_j^2 ; j = 1, 2, \dots, p \quad (2.20)$$

T^2 adalah nilai statistik dari semua variabel dengan distribusi $\chi^2_{\alpha,p}$, sedangkan T_j^2 adalah nilai statistik T^2 tanpa mengikut-

sertakan variabel ke- i dengan distribusi $\chi^2_{\alpha,p-1}$. Distribusi dari nilai d_j adalah $\chi^2_{\alpha,1}$ yang kemudian nilai tersebut akan dibandingkan dengan $\chi^2_{\alpha,1}$. Jika nilai $d_j > \chi^2_{\alpha,1}$, maka dapat disimpulkan bahwa variabel ke- j adalah penyebab *out of control*. Semakin besar nilai d_j , maka kontribusi variabel tersebut terhadap timbulnya kondisi *out of control* akan semakin besar. Sebaliknya, apabila nilai $d_j < \chi^2_{\alpha,1}$, maka variabel penyebab *out of control* tidak dapat diketahui karena semua variabel mempunyai kontribusi yang hampir sama terhadap timbulnya kondisi *out of control* tersebut.

2.4 Uji Proporsi Dua Populasi

Uji proporsi dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya pergeseran proses dilihat dari ada tidaknya perbedaan antara proporsi populasi pertama dengan populasi kedua. Prosedur pengujian yang digunakan adalah sebagai berikut (Montgomery, 2009).

Hipotesis :

$$H_0 : p_1 = p_2$$

$$H_1 : p_1 \neq p_2$$

Statistik uji :

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (2.21)$$

dengan

$$\begin{aligned} \hat{p}_l &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \hat{p}_k \\ \hat{p} &= \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} \end{aligned} \quad (2.22)$$

Jika $Z < -Z_{\alpha/2}$ atau $Z > Z_{\alpha/2}$ maupun $p\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak yang berarti bahwa terdapat pergeseran proses antara populasi pertama dan populasi kedua.

2.5 Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk menghasilkan suatu produk/ jasa sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Suatu proses dikatakan kapabel jika proses memenuhi kedua kondisi sebagai berikut (Montgomery, 2009).

1. Proses terkendali secara statistik.
2. Proses memenuhi batas spesifikasi.

Suatu proses dikatakan terkendali secara statistik jika variasi yang terjadi hanya *chance (random) causes*. Kemampuan proses dapat dinyatakan sebagai persentase produk yang berada di dalam spesifikasi dimana dapat dilihat dari nilai presisi dan akurasi. Presisi adalah ukuran kedekatan antar hasil pengamatan, sedangkan akurasi adalah ukuran kedekatan antara hasil pengamatan dengan target yang ditetapkan. Indeks kapabilitasnya dapat digunakan sebagai tolak ukur untuk mengidentifikasi kapabel tidaknya suatu proses. Asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis kapabilitas proses multivariat adalah peta kendali multivariat sudah dalam keadaan terkendali dan asumsi multivariat juga telah terpenuhi. Menurut Raissi (2009), indeks kapabilitas multivariat (MPCIs) dapat dihitung menggunakan metode *weighting average*. Berikut ini adalah persamaan untuk menghitung MPCIs.

$$\begin{aligned}
 MC_P &= \sum_{j=1}^p W_j C_P(X_j) \\
 MC_{PK} &= \sum_{j=1}^p W_j C_{PK}(X_j)
 \end{aligned} \tag{2.23}$$

dengan

$$\begin{aligned}
 C_P(X_j) &= \frac{BSA - BSB}{6\sigma} \\
 C_{PK}(X_j) &= \min(C_{pa}, C_{pb}) \\
 \sum_{j=1}^p W_j &= 1
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

Keterangan :

C_P = Indeks Kapabilitas Potensial

C_{PK} = Indeks Kapabilitas *Performance*

MC_P dan MC_{PK} masing-masing ekuivalen dengan C_P dan C_{PK} pada kasus multivariat dan W_j menunjukkan bobot untuk masing-masing variabel karakteristik kualitas berdasarkan tingkat kepentingan dari setiap variabel. Menurut departemen QA PT. X, ketiga karakteristik variabel yang dianalisis dalam penelitian ini memiliki tingkat kepentingan yang sama. Sehingga, nilai bobot untuk tiap variabel sama, yaitu 0,33.

Untuk karakteristik atribut, pengukuran kapabilitas proses untuk peta kendali c menggunakan indikator *Equivalent* $\hat{p}_{PK}^{\%}$ dan $ppm_{TOTAL,LT}$ karena dalam penelitian ini hanya digunakan satu batas spesifikasi (unilateral), yaitu batas spesifikasi atas (Bothe, 1997). Perhitungan kapabilitas berdasar-kan pada distribusi *Poisson* dengan peluang produk cacat sebagai berikut.

$$P(x = \text{jumlah jenis cacat tiap unit}) = \frac{(u')^x e^{-u'}}{x!}; x = 0, 1, 2, \dots$$

u' didapatkan dengan perhitungan $u' = \bar{u} = \frac{\bar{c}}{n}$. Jika tidak ditemukan kecacatan pada suatu produk, maka peluang produk tidak cacat adalah.

$$P(x = 0) = \frac{(u')^0 e^{-u'}}{0!} = e^{-u'}$$

Sehingga didapatkan peluang produk cacat (p') seperti berikut dengan $u' = \bar{u}$.

$$\hat{p}' = 1 - P(x = 0) = 1 - e^{-u'} \quad (2.25)$$

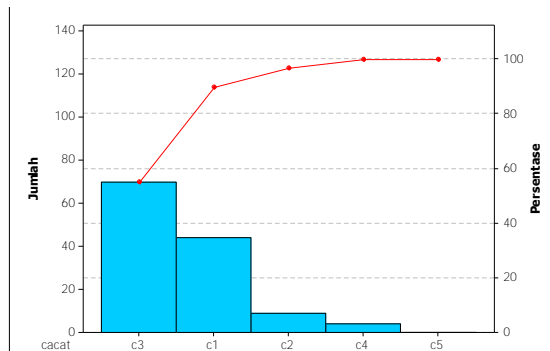
Selanjutnya nilai tersebut ditransformasi pada distribusi Normal dengan standar kualitas 3σ , maka perhitungan kapabilitas proses menjadi seperti berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Equivalent } \hat{p}_{PK}^{\%} &= \frac{Z(\hat{p}')}{3} \\ ppm_{TOTAL,LT} &= p' \times 10^6 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Jika nilai *Equivalent* $\hat{p}_{PK}^{\%} \geq 1$, maka proses dikatakan kapabel (Bothe, 1997).

2.6 Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah diagram batang yang dipadukan dengan diagram garis untuk merepresentasikan suatu parameter yang diukur (bisa berupa frekuensi kejadian atau nilai tertentu) sehingga dapat diketahui parameter dominan (Montgomery, 2009). Diagram batang menunjukkan nilai aktual, sedangkan diagram garis menunjukkan nilai presentase kumulatif dari setiap parameter yang ditinjau. Diagram Pareto digunakan sebagai *tool* untuk mencari penyebab atau faktor dominan dari suatu masalah. Permasalahan dalam suatu proses tidak semua permasalahan harus diselesaikan secara bersamaan, melainkan harus diselesaikan dari faktor yang dominan terlebih dahulu. Kita dapat mengidentifikasi faktor dominan tersebut dengan diagram pareto. Prinsip 80:20 dapat digunakan untuk menentukan faktor dominan, dimana berarti bahwa 80% terjadinya masalah disebabkan oleh 20% faktor penyebab. Diagram Pareto dapat digambarkan seperti Gambar 2.1.

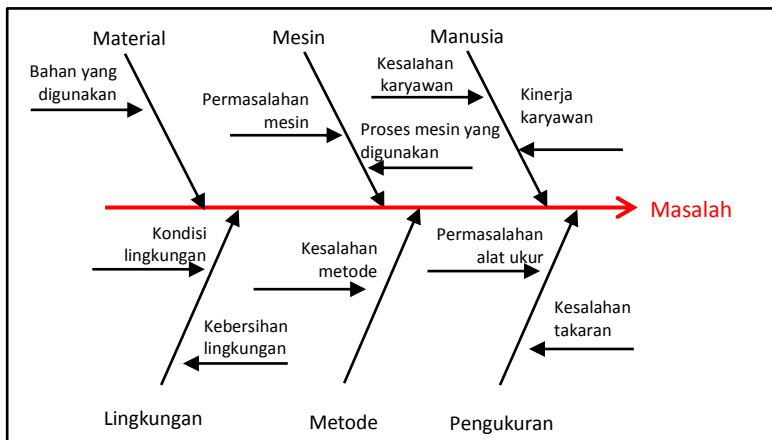


Gambar 2.1 Diagram Pareto

2.7 Diagram Sebab Akibat

Diagram Sebab Akibat juga dikenal sebagai diagram *ishikawa* atau tulang ikan (*fish bone*) dimana berfungsi untuk mengidentifikasi penyebab dari suatu masalah (Montgomery, 2009). Tujuan utama dari diagram sebab akibat adalah untuk menggambarkan secara grafik hubungan antara masalah atau

akibat dengan semua faktor yang mempengaruhinya. Setelah ditemukan variabel yang berkontribusi pada titik yang *out of control* pada peta kendali T^2 Hotelling, maka faktor yang menjadi penyebab terjadinya *assignable causes* pada variabel tersebut harus dianalisis lebih lanjut dengan diagram Sebab Akibat (Chen, 2005). Menurut George (2005), ada enam faktor penyebab masalah dalam diagram sebab akibat yang paling sering digunakan, yaitu manusia (*man*), mesin (*machine*), metode (*method*), bahan baku (*material*), pengukuran (*measurement*), dan lingkungan (*environment*). Manfaat dari penerapan diagram sebab akibat ini adalah dapat membantu untuk menemukan akar penyebab terjadinya masalah. Apabila masalah dan penyebab sudah diketahui secara pasti, maka tindakan dan langkah perbaikan akan lebih mudah dilakukan. Diagram sebab akibat dapat digambarkan seperti Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram Sebab Akibat

2.8 Six Sigma

Six sigma adalah usaha terus-menerus untuk menurunkan varian dan mencegah cacat dari sebuah proses dengan mengaplikasikan alat-alat statistik serta teknik untuk mereduksi cacat sampai didefinisikan tidak lebih dari 3 atau 4 cacat dari satu juta kesempatan untuk mencapai kepuasan pelanggan secara total

(Creveling, Hambleton, dan McCarthy, 2006). *Six sigma* merupakan suatu metode pengendalian dan peningkatan kualitas yang diterapkan oleh perusahaan Motorola sejak tahun 1986 yang merupakan hal baru dalam bidang pengendalian kualitas. *Six sigma* dikendalikan oleh pemahaman yang kuat terhadap kebutuhan konsumen dengan menggunakan fakta, data, dan analisis statistik serta terus-menerus memperhatikan pengaturan, perbaikan, dan mengkaji ulang proses usaha.

Tujuan *six sigma* adalah mengurangi variabilitas *output* sehingga tidak akan melampaui 6σ antara rata-rata dan batas spesifikasi terdekat. Apabila tercapai, maka *six sigma* akan memastikan bahwa keseluruhan proses produksi berjalan pada tingkat efisiensi yang optimal. Konsep yang dikembangkan Motorola berasumsi pada kondisi proses yang mengikuti distribusi Normal dan mengizinkan rata-rata proses bergeser $1,5\sigma$ dari nilai target yang diinginkan konsumen. Berikut ini adalah keterangan dari level sigma yang diterapkan oleh Motorola.

Tabel 2.2 Level Sigma Konsep Motorola

Level Sigma	DPMO	Persentase
2σ	308770	69,10000%
3σ	66811	93,33000%
4σ	6210	99,38000%
5σ	233	99,97700%
6σ	3,44	99,99966%

Peningkatan kualitas menuju target 6σ dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain *Six Sigma* – DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), DMADV (*Define, Measure, Analyze, Design, Verify*) dan DMEDI (*Define, Measure, Explore, Develop, Implement*) DMAIC digunakan untuk meningkatkan proses bisnis yang telah ada. Sedangkan DMADV dan DMEDI digunakan untuk mendesain proses baru untuk menggantikan proses saat ini yang tidak kapabel (Creveling dkk, 2006). Terdapat 5 tahap dalam DMAIC dimana penjelasannya sebagai berikut.

1. *Define*
Pada tahap ini dilakukan identifikasi permasalahan yang akan menjadi sasaran peningkatan proses yang konsisten berdasarkan permintaan atau kebutuhan konsumen. Permasalahan tersebut harus spesifik dan jelas agar dapat diukur dan dikendalikan. Selain itu, dilakukan penetapan tujuan dan batasan dalam perbaikan proses sehingga ruang lingkup perbaikan lebih terarah.
2. *Measure*
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengukuran *Critical to Quality* yang akan dijadikan sasaran perbaikan proses. *Critical to Quality* adalah variabel kritis yang akan dijadikan target perbaikan proses.
3. *Analyze*
Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap hubungan sebab akibat berbagai faktor yang dipelajari untuk mengetahui faktor-faktor dominan yang perlu dikendalikan dan apa saja variabel penyebabnya. Selain itu, dilakukan analisis untuk mengetahui seberapa baik proses yang telah berlangsung.
4. *Improve*
Pada tahap ini dilakukan perbaikan proses dengan membuat beberapa alternatif solusi yang kemudian diterapkan pada proses produksi berdasarkan hasil analisis dengan *statistic tools*. Cara mencari solusi permasalahan dapat dilakukan dengan *brainstorming*, studi literatur, *benchmark*, atau meminta pendapat para ahli pada proses tersebut.
5. *Control*
Pada tahap ini dilakukan pengendalian terhadap proses yang telah diperbaiki pada tahap *improve*. Pengendalian dilakukan secara terus-menerus untuk meningkatkan kapabilitas proses menuju target 6σ . Selain itu, diperlukan pengawasan untuk menjamin sustainabilitas perbaikan yang telah diterapkan agar dapat mencapai target yang diinginkan.

Level sigma yang merupakan indikator kebaikan proses yang selama ini berlangsung dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$DPO = \frac{\text{Jumlah cacat yang diinspeksi}}{\text{Jumlah produk yang diproduksi} \times DO}$$

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \quad (2.27)$$

$$\text{Level sigma} = z \left(\frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000} \right) + 1,5$$

Keterangan :

$$z \left(\frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000} \right) = \text{Inverse cumulative distribution function}$$

dari distribusi Normal standar dengan nilai probabilitas sebesar $\frac{1.000.000 - DPMO}{1.000.000}$

DPMO = *Defect per million opportunities*

DPO = *Defect per opportunities*

DO = *Defect opportunities*, yaitu kriteria *reject* yang ditetapkan (*Critical to Quality*)

Jika suatu perusahaan hanya menghasilkan 3 hingga 4 produk cacat, maka dapat disimpulkan bahwa proses produksi pada perusahaan tersebut memiliki level 6σ .

2.9 Proses Produksi Lembaran Kaca (*Flat Glass*)

Proses produksi di PT. X didukung oleh kinerja mesin dan operator. Bahan baku yang digunakan dalam produksi lembaran kaca dapat dibagi menjadi tiga jenis seperti berikut.

- Bahan Baku Utama
Terdiri dari *silica sand*, *dolomite*, *calumite*, *soda ash*, dan *limestone*.
- Bahan Baku Pembantu
Terdiri dari *feldspar*, *salt cake*, *calumite*, *nepheline*, dan *sodium nitrat*.
- Bahan Baku Pewarna
Terdiri dari *blue dust*, *cobalt oxide*, *cerium oxide*, *titanium oxide*, *chrom oxide*, *cokes*, *sodium selenite*, dan *tin oxide*.

Sedangkan tahapan dalam pembuatan kaca lembaran di PT. X adalah sebagai berikut.

1. **Proses Persiapan Bahan Baku**
Proses penyimpanan bahan baku dilakukan oleh departemen *purchase* yang berada di bawah divisi logistik. Bahan baku yang diterima pabrik dapat berbentuk curah atau kemasan. Proses pengangkutan bahan baku harus dilindungi dari kontaminasi bahan yang bisa menyebabkan permasalahan serius, misalnya nikel. Bahan baku yang diterima harus dikontrol komposisi, ukuran partikel, dan kandungan airnya. Selain itu, pada proses ini disiapkan bahan baku utama pembuatan kaca. Bahan baku pembantu dan pewarna juga disiapkan pada proses ini.
2. **Proses Penimbangan Bahan Baku**
Proses selanjutnya adalah penimbangan bahan baku yang bertujuan untuk mengontrol komposisi bahan pembuat kaca agar mendapatkan hasil kaca yang sesuai dengan keinginan konsumen.
3. **Proses Pencampuran Bahan Baku (*batch house*)**
Proses pencampuran adalah proses dimana bahan baku utama dan bahan baku lainnya dicampur agar menghasilkan campuran yang homogen sehingga menghasilkan produk dengan kualitas baik dan tidak menimbulkan cacat yang tak diinginkan. Rasio pencampuran antara *batch* dan *cullet* adalah 80 : 20.
4. **Proses Peleburan (*melting*)**
Proses peleburan antara *batch* dan *cullet* akan membentuk adonan homogen yang disebut dengan *molten glass*. Jenis tungku yang digunakan PT. X adalah *flat bottom furnace* dengan suhu sekitar 1600⁰C. Pada proses ini terjadi perubahan fase dari padat ke cair, padat ke gas, dan cair ke gas yang bersifat endotermik. Proses ini terjadi di *furnace* yang disebut dengan *port side furnace*, yaitu pembakaran dari samping yang memiliki 12 *port* dengan enam *port* di sisi kiri. Terdapat dua *burner* pada tiap *port*, kecuali *port* 6.

Sistem pembakaran dilakukan secara bergantian dari kiri ke kanan setiap 20 menit. Setiap sisi *furnace* dilengkapi dengan regenerator untuk memanfaatkan panas hasil pembakaran yang kemudian digunakan untuk memanaskan udara.

5. Proses Pembentukan (*drawing*)
Proses pembentukan kaca disebut proses *drawing* yaitu proses pembentukan *molten glass* menjadi kaca lembaran dimana terjadi di *metal bath*, yaitu sebuah kolam yang berisi timah cair sepanjang ± 48 meter dan lebar sebesar 3-7 meter. Setelah memasuki *metal bath*, adonan ditarik oleh *roll* sepanjang ± 100 meter. Selama ditarik oleh *roll*, kaca didinginkan hingga siap untuk dipotong. Kaca tersebut harus terus menyambung sehingga disebut dengan *ribbon*. Terbentuknya ketebalan kaca terjadi dalam proses ini.
6. Proses Pendinginan (*cooling*)
Proses ini disebut juga proses *Lehr*, yaitu menjadikan adonan kaca yang telah terbentuk menjadi keras, tidak pecah, mudah dipotong, dan *flat*. Suhu kaca yang awalnya $\pm 1600^{\circ}\text{C}$ didinginkan perlahan-lahan hingga mencapai suhu ruangan (46°C).
7. Proses Pemotongan (*cutting*)
Proses pemotongan adalah proses memotong kaca menjadi lembaran kaca-kaca yang lebih kecil sehingga lebih mudah dalam pengemasan. Pemotongan ini juga disesuaikan dengan ukuran permintaan konsumen. Terdapat dua cara pemotongan, yaitu secara horizontal dengan *cross wise cutter* dan vertikal dengan *length wise cutter*. Selain itu ada dua proses pemotongan, yaitu pemotongan langsung (*cutting online*) dan pemotongan tidak langsung (*cutting offline*). Pada proses ini juga terdapat proses pengecekan kualitas kaca oleh tim *Quality Control* (QC).
8. Proses Pengemasan
Proses pengemasan oleh *packing section* bertujuan untuk mengemas suatu produk kaca di dalam *box* atau palet dan

menjaga kualitas produk sampai ke tujuan pengiriman. Ada dua cara pengepakan berdasarkan daerah pengiriman, yaitu.

- a. Pengepakan dengan *box* kayu (*packed*)
Digunakan ketika melakukan pengiriman di luar pulau Jawa (dalam negeri) maupun ekspor.
- b. Pengepakan dengan palet besi (*unpacked*)
Digunakan ketika melakukan pengiriman ke dealer-dealer yang berada dalam kota dan luar kota namun masih di pulau Jawa (domestik).

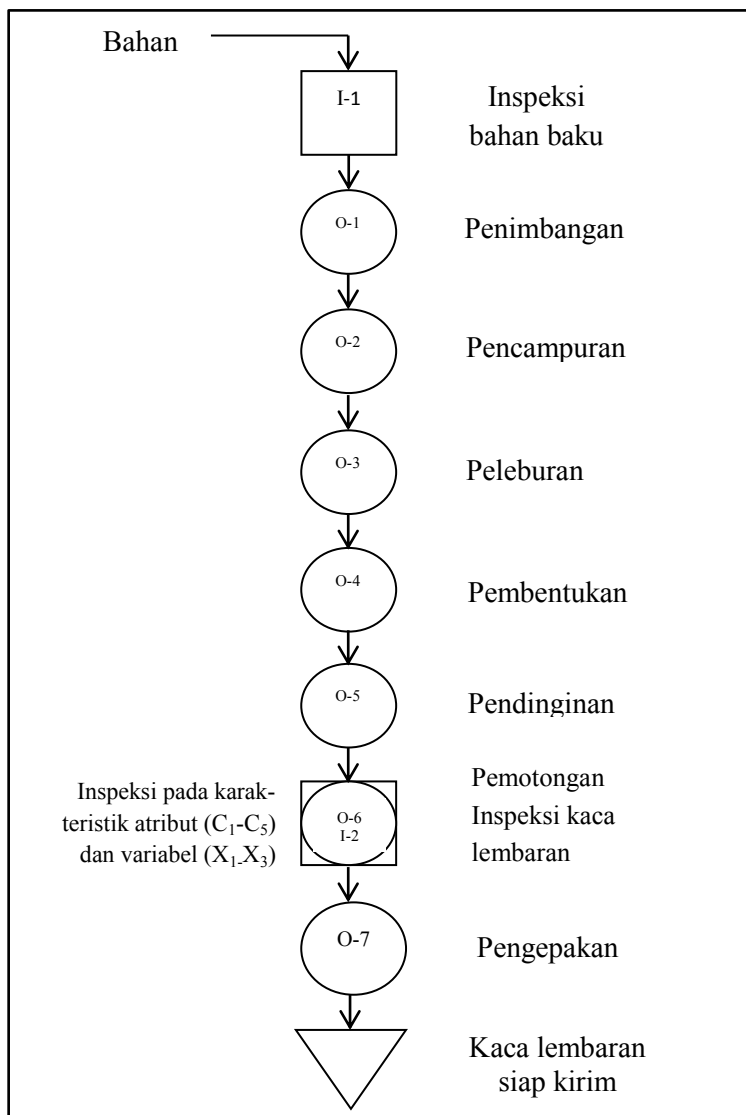
Material yang digunakan dalam proses pengepakan antara lain sebagai berikut.

- | | |
|-------------------------------------|----------------------|
| 1. Kertas (<i>paper inserted</i>) | 2. <i>Steelband</i> |
| 3. <i>Styrofoam</i> | 4. Paku & baut |
| 5. Karton | 6. Plastik |
| 7. <i>Softboard</i> | 8. <i>Silica gel</i> |

Untuk menghindari kerusakan pada saat perjalanan, *box* tersebut dimasukkan ke dalam kontainer. Berikut ini adalah tiga jenis kontainer yang sering digunakan, antara lain.

- a. *Dry container* yang digunakan untuk mengangkut kaca ukuran kecil.
- b. *Open top container* yang digunakan untuk mengangkut kaca yang memiliki ketinggian lebih dari *container*.
- c. *Hard top container* yang mirip seperti *open top container* namun bagian atas *container* terbuat dari besi sehingga jarang digunakan karena sangat sulit dibuka.

Berikut ini adalah peta proses produksi (PPO) di PT. X dimana proses inspeksi karakteristik atribut dan variabel terjadi pada proses operasi keenam (O-6).



Gambar 2.3 Peta Proses Operasi (PPO) Pembuatan Kaca Lembaran

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Salah satu metode dalam *six sigma* adalah DMAIC. Pada rumusan masalah telah dijelaskan mengenai tahap *define*. Berikut ini adalah penjelasan masing-masing tahap dalam DMAIC yang dimulai dengan tahap *measure*.

3.1 Tahap *Measure*

Tahap *Measure* adalah tahap kedua dalam DMAIC. Pada tahap ini dilakukan pengukuran terhadap variabel kritis yang biasa disebut dengan *Critical to Quality* yang selanjutnya disebut dengan CTQ. Pengukuran dilakukan pada interval waktu 15 Januari hingga 11 Oktober 2015. Berdasarkan waktu dilakukannya perbaikan, periode waktu dibagi menjadi dua, yaitu : periode pertama antara tanggal 15 Januari-14 Mei 2015 dan periode kedua antara tanggal 15 Mei-11 Oktober 2015. Subgrup adalah hari dengan ukuran subgrup konstan. Jumlah subgrup untuk kaca tipe DN pada periode pertama dan kedua masing-masing adalah 11 dan 14 subgrup, dengan 4 sampel pada setiap subgrup. Sedangkan jumlah subgrup untuk kaca tipe E masing-masing sebanyak 23 dan 40, dengan 6 sampel pada setiap subgrup. Selain itu juga akan dijelaskan mengenai metode pengambilan sampel yang dilakukan oleh departemen QC.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari departemen QC. Teknik sampling yang digunakan oleh departemen QC adalah *random sampling*. Tiap 6 jam, produk LNFL tipe DN diambil secara *random* di salah satu dari 5 *branch*. Sedangkan kaca tipe E diambil tiap 4 jam. PT. X termasuk dalam perusahaan *continuous production*, sehingga proses produksi dilakukan setiap hari dengan tiga *shift* kerja dimana masing-masing *shift* adalah 8 jam. Namun produksi LNFL hanya dilakukan ketika ada permintaan dari konsumen, sehingga PT. X tidak memproduksi setiap hari.

Inspeksi kecacatan dan spesifikasi produk dilakukan saat proses pemotongan, yaitu pada operasi ke-6 (lihat Gambar 2.3). Terdapat dua jenis CTQ yang diukur, yaitu CTQ atribut dan variabel dimana penjelasannya sebagai berikut.

1. Pengukuran CTQ Atribut

CTQ bersifat atribut adalah jumlah cacat primer dan sekunder. Cacat primer adalah cacat yang terjadi saat *hot process* (proses peleburan), yaitu *bubble*, *inclusion*, *drip*, *tin pick up*, dan *other*. Sedangkan cacat sekunder adalah cacat yang terjadi saat *cool process* (setelah proses pembentukan) antara lain *cullet*, *pushmark*, *chipping*, *strain*, dan *scratch*. Cacat atribut paling sering terjadi pada proses peleburan dan pembentukan.

Alat yang digunakan untuk mendeteksi ada tidaknya cacat pada permukaan, bagian bawah, dan bagian dalam lembaran kaca adalah *Floatican Catcher*. Adanya cacat akan ditandai dengan lampu detektor berwarna merah. Jika pada kaca terdapat cacat maka pada layar akan terbentuk bayangan (*shine screen*). Kamera akan menangkap bayangan tersebut dan melaporkannya ke CPU. Setelah itu, CPU akan memerintahkan alat-alat yang lain untuk melakukan *action* pada cacat tersebut. Jika ada cacat yang lolos detektor, maka dapat dilihat menggunakan *scale lupe*. Jenis cacat yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah cacat primer. Hal tersebut dikarenakan menurut informasi dari tim QA, cacat primer lebih sering terjadi sehingga diperlukan pengawasan lebih pada cacat tersebut agar dapat mengurangi produk *reject*. Berikut ini adalah CTQ yang dideteksi oleh *floatican catcher* dimana yang diukur adalah jumlah cacatnya.

a. Jumlah *Bubble* (C_1)

Jenis cacat berupa gelembung gas pada kaca saat material bereaksi pada proses peleburan di *melter* atau pembentukan kaca di *metal bath*.

b. Jumlah *Inclusion* (C_2)

Jenis cacat berupa batuan kecil dalam kaca akibat proses peleburan bahan baku yang kurang sempurna.

- c. Jumlah *Drip* (C_3)
Jenis cacat berupa benda atau cairan asing yang menetes atau menempel pada permukaan kaca.
- d. Jumlah *Tin Pick Up* (C_4)
Jenis cacat berupa kaca melengkung yang dikarenakan oleh kenaikan suhu pada *exit*. *Tin pick up* selanjutnya disebut dengan TPU.
- e. *Other* (C_5)
Cacat lain pada *primary defect* yang meliputi *ream*, *roll imprint*, *dross*, *bloom*, dan lain-lain.

Kelima jenis cacat tersebut memiliki bobot yang sama dan tidak memiliki hubungan antar jenis cacat. Struktur data untuk karakteristik atribut dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Struktur Data untuk Karakteristik Atribut

Subgrup (m)	Ukuran subgrup (n)	Jenis cacat (j)					Total cacat per subgrup (C _k)	Rata- rata cacat per subgrup (U _k)
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅		
1	1	X ₁₁₁	X ₁₂₁	X ₁₃₁	X ₁₄₁	X ₁₅₁	C ₁	U ₁
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
	i	X _{i11}	X _{i21}	X _{i31}	X _{i41}	X _{i51}		
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
	n	X _{n11}	X _{n21}	X _{n31}	X _{n41}	X _{n51}		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
k	1	X _{11k}	X _{12k}	X _{13k}	X _{14k}	X _{15k}	C _k	U _k
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
	i	X _{i1k}	X _{i2k}	X _{i3k}	X _{i4k}	X _{i5k}		
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
	n	X _{n1k}	X _{n2k}	X _{n3k}	X _{n4k}	X _{n5k}		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
m	1	X _{11m}	X _{12m}	X _{13m}	X _{14m}	X _{15m}	C _m	U _m
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
	i	X _{i1m}	X _{i2m}	X _{i3m}	X _{i4m}	X _{i5m}		
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		
	n	X _{n1m}	X _{n2m}	X _{n3m}	X _{n4m}	X _{n5m}		
Rata-rata total cacat per subgrup							\bar{C}	

Keterangan :

- x_{i1k} = Jumlah cacat pengamatan pada observasi ke-i, jenis cacat ke-1, dan subgrup ke-k
 i = Banyaknya sampel atau ukuran subgrup sejumlah n
 j = Banyaknya karakteristik kualitas sejumlah p
 k = Banyaknya subgrup sejumlah m.

2. Pengukuran CTQ Variabel

Karakteristik variabel yang diukur pada produk LNFL pada PT. X antara lain sebagai berikut.

- a. Ketebalan Kaca (X_1)
 Kaca lembaran harus memiliki ketebalan yang sama pada setiap sisinya. Satuan yang digunakan adalah millimeter (mm) dan diukur dengan *micrometer* yang memiliki akurasi 0,01 mm. Standar ketebalan untuk LNFL 1,93 - 2,15 mm.
- b. Kerataan Permukaan Kaca (X_2)
 Kerataan permukaan memiliki spesifikasi 0-0,06 mm dan diukur menggunakan *flatness table* dan *taper gauge*.
- c. Zebra (X_3)
 Zebra atau distorsi adalah gangguan pandangan jarak dan sudut tertentu yang diukur dengan *slanting gauge* dengan spesifikasi 45^0 - 55^0

Struktur data untuk karakteristik variabel disajikan pada Tabel 3.2.

3.2 Tahap Analyze

Tahap selanjutnya adalah *analyze* atau melakukan analisis pada hasil pengukuran periode pertama. Analisis yang dilakukan antara lain analisis kapabilitas dan level sigma proses produksi. Suatu proses dikatakan kapabel jika memenuhi dua kondisi, yaitu proses telah terkendali secara statistik dan proses berada dalam batas spesifikasi. Oleh karena itu, sebelum melakukan analisis kapabilitas akan dilakukan identifikasi terkendali tidaknya proses menggunakan peta kendali \bar{c} untuk atribut dan peta kendali T^2 *Hotelling* serta *Improved |S|* untuk variabel. Berikut ini adalah langkah-langkah analisisnya.

1. Mendeskripsikan data atribut dan variabel.
2. Melakukan analisis kapabilitas atribut.
 - a. Membuat peta kendali c .
 - b. Membuat Diagram Pareto.
 - c. Mengidentifikasi penyebab cacat dominan dengan Diagram Sebab Akibat.
 - d. Menentukan indeks kapabilitas dan level sigma proses.
3. Melakukan analisis kapabilitas variabel.
 - a. Mengidentifikasi dependensi antar variabel dengan statistik uji *Bartlett*.
 - b. Mengidentifikasi distribusi data dengan uji koefisien korelasi $q-q$ plot.
 - c. Membuat peta kendali *Improved |S|*.
 - d. Membuat peta kendali T^2 Hotelling.
 - e. Mengidentifikasi variabel penyebab *out of control* menggunakan dekomposisi nilai statistik uji T^2 Hotelling
 - f. Menentukan indeks kapabilitas dan level sigma proses.

3.3 Tahap *Improve*

Tahap *improve* merupakan tahap penerapan perbaikan berdasarkan saran dari hasil analisis. Departemen QC telah menerapkan perbaikan tiap bulan dengan *preventive maintenance* dan secara insidental pada tanggal 15 Mei 2015.

3.4 Tahap *Control*

Pada tahap ini, akan dilakukan monitoring atau pengawasan secara terus-menerus terhadap hasil perbaikan yang telah diterapkan oleh departemen QC. Selanjutnya akan dilakukan evaluasi proses perbaikan pada hasil pengukuran periode kedua dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi pergeseran proses pada periode pertama ke priode kedua.
 - a. Melakukan uji proporsi dua populasi untuk data atribut.
 - b. Mengidentifikasi homogenitas matrik kovarian dengan statistik uji *Box's M*.

- c. Melakukan uji MANOVA Satu Arah untuk data variabel.
 2. Melakukan analisis pada hasil pengukuran periode kedua dengan urutan yang sama seperti analisis pada hasil pengukuran periode pertama.
 3. Melakukan perbandingan dependensi antar variabel.
 4. Membuat kesimpulan dan saran.
- Langkah-langkah analisis secara skematik dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Tabel 3.2 Struktur Data untuk Karakteristik Variabel

Subgrup (m)	Ukuran subgrup (n)	Karakteristik Kualitas Variabel (j)		
		X_1	X_2	X_3
1	1	X_{111}	X_{121}	X_{131}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	i	X_{i11}	X_{i21}	X_{i31}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	n	X_{n11}	X_{n21}	X_{n31}
	\bar{X}	$\bar{X}_{.11}$	$\bar{X}_{.21}$	$\bar{X}_{.31}$
	S^2	$S^2_{.11}$	$S^2_{.21}$	$S^2_{.31}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
k	1	X_{11k}	X_{12k}	X_{13k}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	i	X_{i1k}	X_{i2k}	X_{i3k}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	n	X_{n1k}	X_{n2k}	X_{n3k}
	\bar{X}	$\bar{X}_{.1k}$	$\bar{X}_{.2k}$	$\bar{X}_{.3k}$
	S^2	$S^2_{.1k}$	$S^2_{.2k}$	$S^2_{.3k}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
m	1	X_{11m}	X_{12m}	X_{13m}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	i	X_{i1m}	X_{i2m}	X_{i3m}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	n	X_{n1m}	X_{n2m}	X_{n3m}
	\bar{X}	$\bar{X}_{.1m}$	$\bar{X}_{.2m}$	$\bar{X}_{.3m}$
	S^2	$S^2_{.1m}$	$S^2_{.2m}$	$S^2_{.3m}$
Rata-rata keseluruhan		$\bar{\bar{X}}_{.1.}$	$\bar{\bar{X}}_{.2.}$	$\bar{\bar{X}}_{.3.}$
Varian keseluruhan		$S^2_{.1.}$	$S^2_{.2.}$	$S^2_{.3.}$

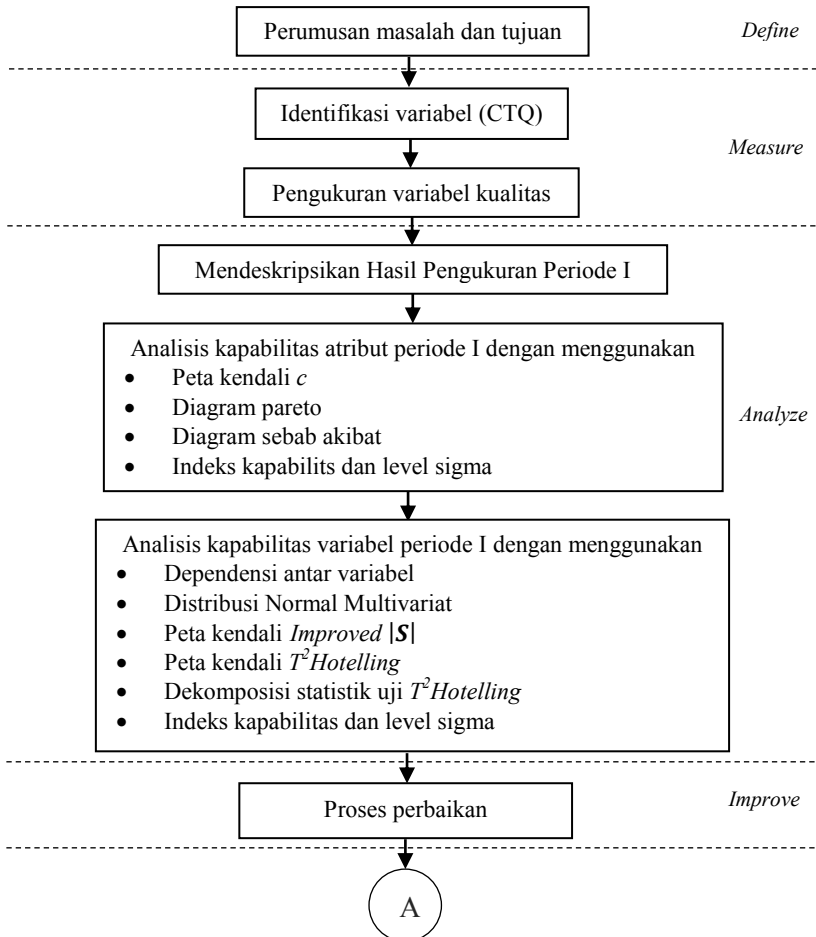
Keterangan :

x_{i1k} = Nilai pengamatan pada observasi ke-i, karakteristik kualitas ke-1, dan subgrup ke-k

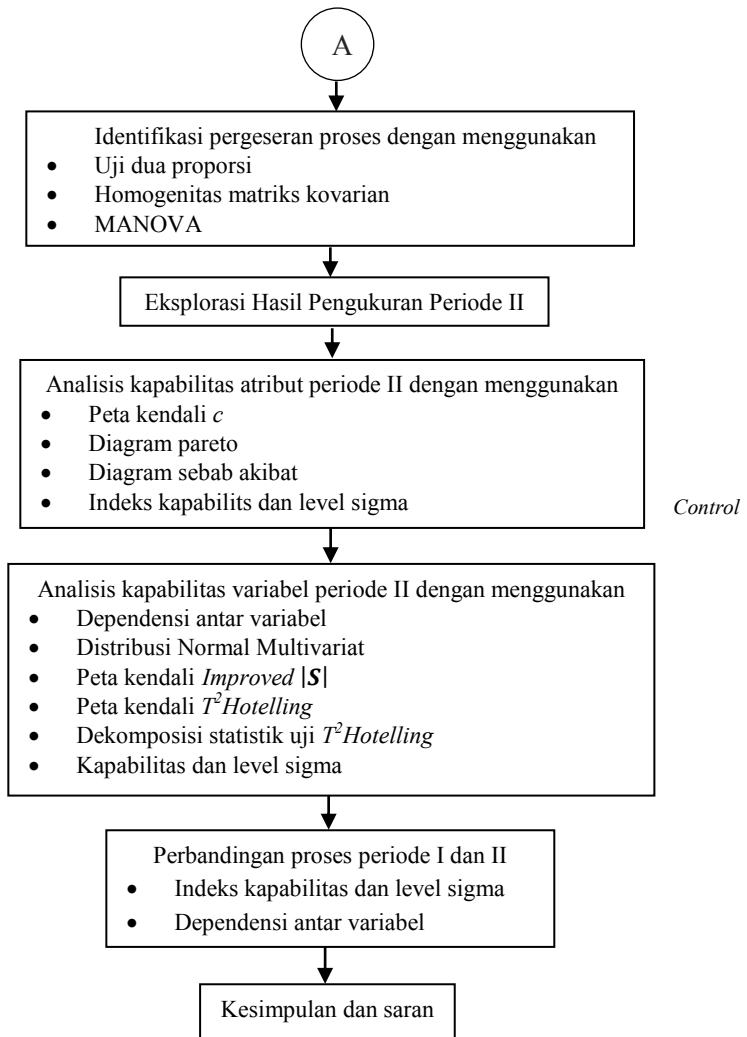
i = Banyaknya sampel atau ukuran subgrup sejumlah n

j = Banyaknya karakteristik kualitas sejumlah p

k = Banyaknya subgrup sejumlah m



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Tahap DMAIC yang akan dibahas dalam bab ini adalah *analyze* untuk mengidentifikasi stabilitas, kapabilitas, dan level sigma hasil pengukuran periode pertama, *improve* untuk menjelaskan perbaikan yang telah diterapkan oleh tim QC, dan *control* untuk melihat ada tidaknya dampak perbaikan.

4.1 Tahap *Analyze*

Tahap *analyze* merupakan tahapan untuk menganalisis hasil pengukuran pada periode pertama sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran periode kedua. Analisis yang dilakukan pada tahap ini adalah analisis kapabilitas proses dan penentuan level sigma untuk produk LNFL tipe DN dan E. Namun, sebelumnya dilakukan pendeskripsian hasil pengukuran atribut maupun variabel untuk mengetahui karakteristik hasil pengukuran dimana masing-masing ditampilkan pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Statistika Deskriptif Karakteristik Atribut Periode I

Tipe Kaca	Jenis Cacat					Jumlah
	<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>	
DN	9	0	0	0	0	9
E	21	1	2	0	0	24

Tabel 4.2 Statistika Deskriptif Karakteristik Variabel Periode I

Tipe kaca	Variabel	Rataan	Deviasi standar	Minimum	Maksimum	BSB	BSA
DN	X ₁	2,025	0,019	1,983	2,098	1,93	2,15
	X ₂	0,044	0,019	0,020	0,090*	0,00	0,06
	X ₃	52,489	0,994	50,250	54,500	45,00	55,00
E	X ₁	2,029	0,017	1,988	2,075	1,93	2,15
	X ₂	0,052	0,017	0,010	0,090*	0,00	0,06
	X ₃	52,147	1,289	49,250	56,000*	45,00	55,00

Ket: *) Nilai melebihi BSA

Tabel 4.1 memberikan informasi bahwa pada periode pertama, LNFL tipe E memiliki jumlah jenis cacat yang lebih banyak dibandingkan LNFL tipe DN. Jenis cacat terbanyak untuk kedua

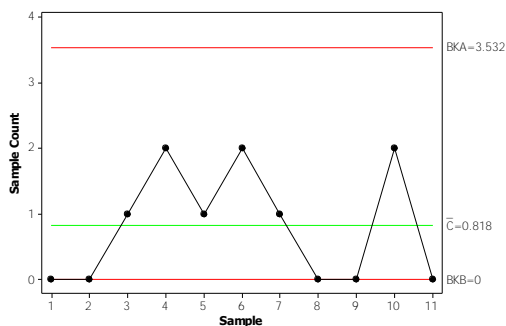
tipe LNFL adalah *bubble*, yaitu sebanyak 9 cacat untuk tipe DN dan 24 cacat untuk tipe E. Selanjutnya Tabel 4.2 menunjukkan bahwa pada periode pertama, variabel yang memiliki hasil pengukuran melebihi batas spesifikasi atas (BSA) pada LNFL tipe DN adalah kerataan permukaan. Sedangkan untuk LNFL tipe E adalah variabel kerataan permukaan dan zebra.

4.1.1 Analisis Kapabilitas Atribut Kaca LNFL Tipe DN

Analisis yang akan dilakukan pada LNFL tipe DN dan E dibagi menjadi dua, yaitu analisis pada karakteristik atribut dan variabel produk. Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 2.5, suatu proses dikatakan kapabel jika proses telah terkendali secara statistik dan memenuhi batas spesifikasi. Suatu proses dikatakan telah terkendali secara statistik jika variabilitas yang terjadi hanya *chance (random) causes*. Sedangkan indikator bahwa proses memenuhi batas spesifikasi adalah indeks $C_p \geq 1$. Oleh karena itu, analisis kapabilitas proses diawali dengan mengidentifikasi terkendali tidaknya proses produksi menggunakan peta kendali.

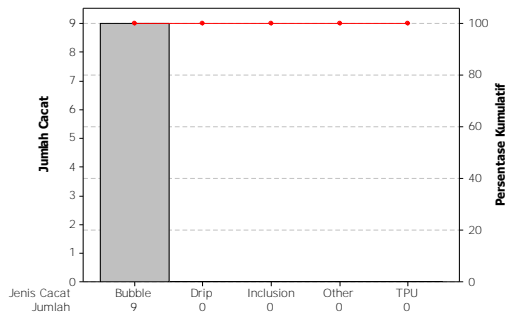
1. Identifikasi Kondisi Proses dan *Penyebab Out of Control*

Langkah pertama dalam melakukan analisis kapabilitas karakteristik atribut adalah membuat peta kendali c untuk mengetahui kondisi proses, apakah terkendali atau tidak. Berdasarkan hasil pengukuran pada Lampiran A dan Persamaan 2.9, diperoleh peta kendali c pada Gambar 4.1



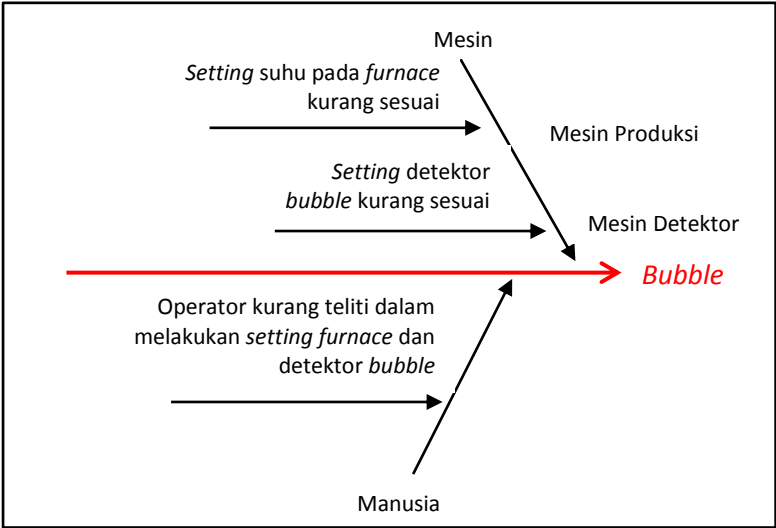
Gambar 4.1 Peta Kendali c LNFL Tipe DN Periode I

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semua titik berada dalam batas kendali. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi LNFL tipe DN pada periode pertama telah terkendali secara statistik jika ditinjau dari karakteristik atribut. Nilai \bar{c} sebesar 0,818 yang artinya rata-rata terdapat sekitar 8 hingga 9 jenis cacat pada tiap 10 unit LNFL tipe DN. Jenis cacat dominan pada LNFL tipe DN periode pertama dapat dicari dengan menggunakan Diagram Pareto.



Gambar 4.2 Diagram Pareto LNFL Tipe DN Periode I

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa jenis cacat dominan yang terjadi pada LNFL tipe DN pada periode pertama adalah *bubble*, yaitu sebesar 100 persen atau 9 cacat. Hal tersebut mengindikasikan bahwa semua produk cacat yang terjadi pada periode pertama disebabkan oleh *bubble*. Selanjutnya dengan menggunakan Diagram Sebab Akibat (lihat Gambar 4.3) dapat diidentifikasi bahwa penyebab terjadinya *bubble* adalah faktor mesin dan manusia. Faktor mesin dibagi menjadi dua, yaitu mesin produksi dan detektor *bubble*. Pada mesin produksi, masalah yang terjadi adalah pada *setting furnace* pada proses peleburan kurang sesuai. Sedangkan pada mesin detektor *bubble*, permasalahan yang terjadi adalah *setting* detektor kurang sesuai, sehingga banyak *bubble* yang lolos inspeksi dan mengakibatkan produk cacat. Permasalahan pada faktor manusia adalah operator kurang teliti dalam mengatur *setting furnace* dan alat detektor *bubble*.



Gambar 4.3 Diagram Sebab Akibat Jenis Cacat Bubble

3. Perhitungan Indeks Kapabilitas dan Level Sigma

Indeks kapabilitas proses digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu proses dalam menghasilkan suatu produk sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Untuk karakteristik atribut, indikator kapabilitas yang digunakan adalah *Equivalent* $\hat{p}_{PK}^{\%}$ dan $ppm_{TOTAL,LT}$ karena hasil pengukuran cacat LNFL hanya memiliki satu batas spesifikasi. Suatu proses dikatakan kapabel jika memiliki nilai *Equivalent* $\hat{p}_{PK}^{\%} \geq 1$. Langkah pertama adalah menghitung rata-rata jumlah jenis cacat per unit atau \bar{c} . Kemudian dilakukan perhitungan pada hasil pengukuran Lampiran A menggunakan Persamaan 2.25 dan 2.26. Selain itu juga dilakukan perhitungan level sigma proses menggunakan Persamaan 2.27 dimana hasilnya disajikan pada Tabel 4.3. Perhitungan selengkap-nya untuk indeks kapabilitas dan level sigma atribut masing-masing dapat dilihat di Lampiran G dan H.

Tabel 4.3 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut Tipe DN Periode I				
\hat{p}'	<i>Equivalent</i> $\hat{p}_{PK}^{\%}$	DPO	DPMO	Level Sigma
0,184945	0,29889	0,040909	40909	3,24

Rata-rata peluang produk cacat per unit sebesar 0,184945 yang ditunjukkan oleh nilai \hat{p}' . Selain itu diperoleh informasi bahwa proses produksi LNFL tipe DN pada periode pertama belum kapabel jika ditinjau dari karakteristik atribut karena nilai *Equivalent* $\hat{p}_{PK}^{\%} < 1$, yaitu sebesar 0,29. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat banyak kaca tipe DN yang berada di luar batas spesifikasi atribut kaca. Level sigma LNFL tipe DN pada periode pertama sebesar $3,24\sigma$. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa proses produksi sudah cukup baik. Namun, nilai tersebut masih cukup jauh dari level 6σ , sehingga diperlukan *continuous improvement* untuk memperbaiki proses produksi hingga mencapai 3 hingga 4 cacat dari satu juta produk. Jika proses produksi semakin baik, maka variabilitas proses akan berkurang dan berdampak langsung pada berkurangnya jumlah produk cacat yang dihasilkan. Nilai DPMO sebesar 40909 yang berarti bahwa dari satu juta produk LNFL tipe DN, terdapat 40909 produk yang cacat. Hal tersebut akan mengakibatkan kerugian bagi perusahaan, baik kerugian finansial, waktu, maupun tenaga karena produk yang cacat harus dibuang dan dilakukan pengerjaan ulang.

4.1.2 Analisis Kapabilitas Variabel Kaca LNFL Tipe DN

Analisis pada karakteristik variabel dilakukan secara multivariat karena diduga antar variabel saling berkorelasi. Variabel yang dianalisis ada tiga, yaitu ketebalan kaca, kerataan permukaan kaca, dan zebra. Sebelum dilakukan analisis multivariat, hasil pengukuran harus memenuhi asumsi dependensi antar variabel dan distribusi Normal Multivariat.

1. Pengujian Dependensi Antar Variabel

Uji dependensi menggunakan statistik uji *Bartlett* dimana hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Uji Dependensi LNFL Tipe DN Periode I

	Nilai	Daerah kritis	Keputusan	Kesimpulan
<i>Chi-square</i>	1,601	7,815	H_0 Gagal	Tidak ada korelasi
<i>P-value</i>	0,659	0,05	ditolak	antar variabel

Tabel 4.4 merupakan hasil uji dependensi yang dilakukan pada hasil pengukuran Lampiran B menggunakan Persamaan 2.1.

Terlihat bahwa tidak terdapat korelasi di antara ketiga variabel kualitas LNFL tipe DN. Baik nilai *chi-square* maupun *p-value* menghasilkan keputusan H_0 gagal ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran tidak memenuhi asumsi dependensi antar variabel, dimana hasil selengkapnya dapat dilihat di Lampiran I. Hasil pengujian dependensi berbeda dengan keadaan nyata di lapangan. Menurut pihak QA PT. X, terdapat hubungan di antara ketiga variabel tersebut, dimana jika nilai kerataan permukaan kaca semakin tinggi, kaca akan semakin tebal. Sedangkan jika kaca semakin tebal, maka nilai zebra akan bertambah. Oleh karena itu, akan diasumsikan bahwa ketiga karakteristik variabel saling berkorelasi sehingga dapat dilakukan analisis multivariat.

2. Pengujian Distribusi Normal Multivariat

Asumsi kedua yang harus dipenuhi adalah data berdistribusi Normal Multivariat. Identifikasi distribusi dalam penelitian ini dilakukan secara inferensia, yaitu menggunakan uji signifikansi koefisien korelasi *q-q plot*. Dengan menggunakan makro Minitab di Lampiran J, didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 4.5 dan Lampiran K.

Tabel 4.5 Hasil Uji Normal Multivariat LNFL Tipe DN Periode I

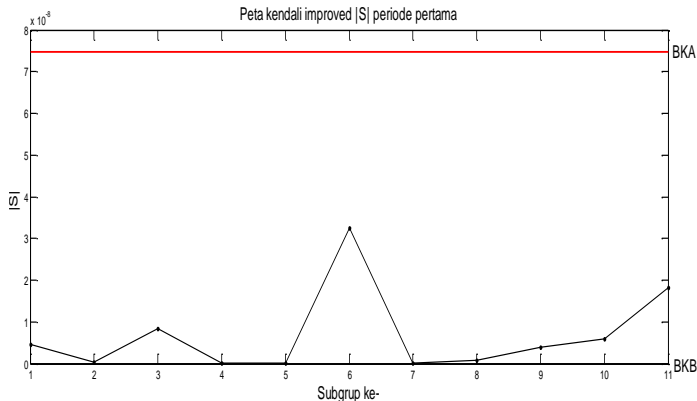
r_Q	$r_{(44;0,05)}$	Keputusan	Kesimpulan
0,978	0,973	H_0 Gagal Ditolak	Hasil pengukuran berdistribusi Normal Multivariat

Tabel 4.5 memberikan informasi bahwa hasil pengukuran LNFL tipe DN pada periode pertama telah memenuhi asumsi Normal Multivariat. Dapat dilihat bahwa nilai r_Q lebih besar dari nilai kritis, sehingga didapatkan keputusan H_0 gagal ditolak. Analisis multivariat dapat diterapkan karena hasil pengukuran karakteristik variabel LNFL tipe DN periode pertama telah memenuhi kedua asumsi yang telah disebutkan sebelumnya.

3. Identifikasi Kondisi Proses dan Penyebab *Out of Control*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, analisis kapabilitas proses diawali dengan identifikasi terkendali tidaknya proses. Oleh karena itu, akan dibuat peta kendali *Improved |S|* dan

T^2 Hotelling untuk mengidentifikasi terkendali tidaknya variabilitas dan rataan proses. Pertama, akan dilakukan monitoring pada variabilitas proses menggunakan peta kendali *Improved |S|*. Gambar 4.4 merupakan peta kendali *Improved |S|* untuk hasil pengukuran LNFL tipe DN periode pertama jika ditinjau dari tiga karakteristik variabel, yaitu ketebalan, kerataan, dan zebra. Sintak Matlab yang digunakan dapat dilihat di Lampiran L.

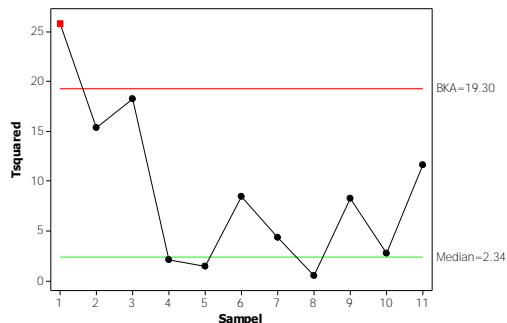


Gambar 4.4 Peta Kendali *Improved |S|* LNFL Tipe DN Periode I

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semua titik pengamatan berada dalam batas peta kendali *Improved |S|*. Batas kendali bawah peta sebesar 0 dan batas kendali atas sebesar $7,736 \times 10^{-8}$. Hal tersebut mengindikasikan bahwa variabilitas proses produksi LNFL tipe DN pada periode pertama telah terkendali secara statistik. Karena peta kendali *Improved |S|* telah *in control*, selanjutnya dapat dilakukan monitoring terhadap rataan proses produksi dengan menggunakan peta kendali T^2 Hotelling yang disajikan pada Gambar 4.5.

Peta Kendali T^2 Hotelling belum terkendali secara statistik karena terdapat satu titik pengamatan yang berada di luar batas kendali atas peta (lihat Gambar 4.5). Hal tersebut mengindikasikan bahwa rataan proses produksi LNFL tipe DN pada periode pertama belum terkendali secara statistik. Variabel penyebab terjadinya titik *out of control* harus ditelusuri. Jika

penyebabnya diketahui, maka dapat disimpulkan bahwa variasi yang terjadi adalah *assignable causes* dan data *out of control* dapat dihapus dari analisis. Sedangkan jika penyebabnya tidak diketahui, maka dapat disimpulkan bahwa variasi yang terjadi adalah *random causes* dan data *out of control* tidak perlu dihapus dari analisis. Oleh karena itu, harus dilakukan identifikasi menggunakan dekomposisi statistik uji T^2 Hotelling yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.6.



Gambar 4.5 Peta Kendali T^2 Hotelling LNFL Tipe DN Periode I

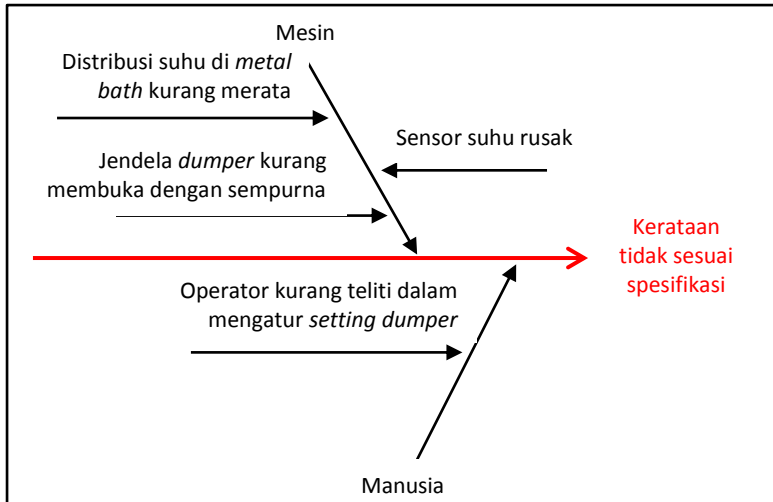
Tabel 4.6 Hasil Dekomposisi LNFL Tipe DN Periode I

Subgrup	T^2	T_1^2	T_2^2	T_3^2	d_1	d_2	d_3	$\chi^2_{0,05;1}$
1	25,80	25,63	0,49	25,62	0.17	25,31*	0,18	5,99

Ket: *) Nilai lebih besar dari $\chi^2_{0,05;1}$

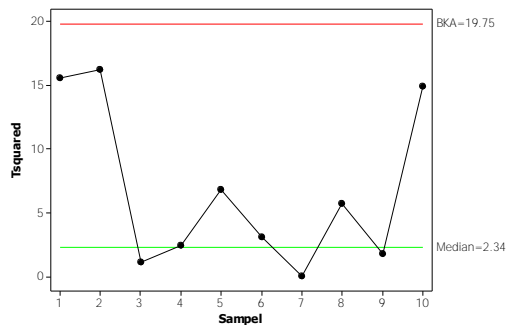
Tabel 4.6 merupakan hasil dekomposisi untuk statistik uji T^2 Hotelling pada hasil pengukuran LNFL tipe DN dimana hanya dilakukan pada titik yang *out of control*, yaitu subgrup ke-1. Dapat dilihat bahwa variabel kerataan permukaan kaca merupakan penyebab kondisi *out of control* karena bernilai lebih dari $\chi^2_{0,05;1}$, yaitu sebesar 25,31. Perhitungan dekomposisi dapat dilihat di Lampiran M. Selanjutnya menggunakan Diagram Sebab Akibat (lihat Gambar 4.6) dapat diidentifikasi bahwa penyebab terjadinya ketidaksesuaian pada spesifikasi kerataan disebabkan oleh faktor mesin dan manusia. Permasalahan yang terjadi pada mesin adalah distribusi suhu di *metal bath* kurang merata, sensor suhu rusak. Dan jendela *dumper* kurang membuka dengan sempurna.

Sedangkan permasalahan pada faktor manusia adalah kurang telitinya operator dalam mengatur *setting dumper*.



Gambar 4.6 Diagram Sebab Akibat Variabel Kerataan Permukaan Kaca

Penyebab kondisi *out of control* telah diketahui, sehingga data subgrup ke-1 dapat dihapus dari analisis dan didapatkan peta kendali T^2 Hotelling seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Peta Kendali T^2 Hotelling LNFL Tipe DN Perbaikan Pertama

Semua titik pengamatan telah berada dalam batas kendali seperti yang terlihat pada Gambar 4.7. Hal tersebut mengindikasi-

kan bahwa rata-rata proses produksi telah terkendali secara statistik. Karena peta kendali *Improved |S|* dan T^2 *Hotelling* telah *in control*, maka dapat disimpulkan bahwa proses produksi kaca LNFL tipe DN pada periode pertama telah terkendali secara statistik. Langkah selanjutnya adalah menghitung indeks kapabilitas proses jika ditinjau dari karakteristik variabel.

4. Perhitungan Indeks Kapabilitas dan Level Sigma

Suatu proses dikatakan kapabel jika nilai C_p dan $C_{pk} \geq 1$. Perhitungan indeks kapabilitas multivariat menggunakan Persamaan 2.23 dengan pembobot sebesar 0,333 untuk tiap variabel. Oleh karena itu, akan dihitung indeks kapabilitas univariat terlebih dahulu menggunakan Persamaan 2.24 dan selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kapabilitas multivariat yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 4.7 dan Lampiran N. Selain itu juga disajikan level sigma dimana perhitungan selengkapnya dapat dilihat di Lampiran O.

Tabel 4.7 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel Tipe DN Periode I

C_p			C_{pk}			MC_p	MC_{pk}	DPMO	Level Sigma
X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3				
2.18	1.88	0.74	0.47	1.58	0.78	1.485	1.033	16667	3,63

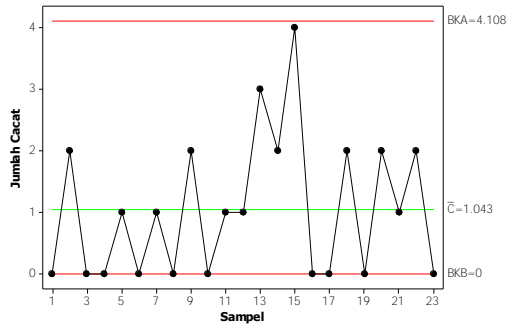
Tabel 4.7 menunjukkan bahwa proses produksi kaca LNFL tipe DN pada periode pertama telah kapabel jika ditinjau dari karakteristik variabel, karena baik nilai MC_p maupun $MC_{pk} > 1$, dimana masing-masing bernilai 1,485 dan 1,033. Indeks kapabilitas > 1 mengindikasikan bahwa jumlah kaca tipe DN yang berada di luar batas spesifikasi relatif sedikit jika ditinjau dari karakteristik variabel kaca. Nilai DPMO sebanyak 16667 yang berarti bahwa dari 1 juta produk, terdapat 16667 yang tidak memenuhi batas spesifikasi perusahaan. Level sigma proses produksi LNFL tipe DN berada pada level 3,63 σ jika ditinjau dari karakteristik variabel dimana dapat dikatakan sudah cukup baik.

4.1.3 Analisis Kapabilitas Atribut Kaca LNFL Tipe E

Langkah analisis yang akan dilakukan pada kaca LNFL tipe E sama seperti analisis untuk kaca tipe DN, sehingga hanya akan ditampilkan poin-poin penting dalam tiap langkah analisis.

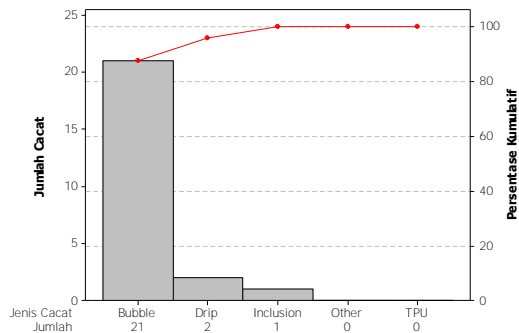
1. Identifikasi Kondisi Proses dan *Penyebab Out of Control*

Pertama dilakukan identifikasi terkendali tidaknya proses menggunakan peta kendali c dimana hasilnya adalah proses telah terkendali secara statistik. Hasil disajikan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Peta Kendali c LNFL Tipe E Periode I

Identifikasi jenis cacat dominan menggunakan Diagram Pareto menghasilkan kesimpulan bahwa jenis cacat dominan pada LNFL tipe E periode pertama adalah jumlah *bubble* (lihat Gambar 4.9). Faktor penyebabnya dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.9 Diagram Pareto LNFL Tipe E Periode I

2. Perhitungan Indeks Kapabilitas dan Level Sigma

Kondisi proses telah terkendali secara statistik, sehingga dapat dilakukan perhitungan indeks kapabilitas dan level sigma proses. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut Tipe E Periode I

Tipe Kaca	\hat{p}'	<i>Equivalent</i> $\hat{p}_{PK}^{\%}$	DPMO	Level Sigma
E	0,159563	0,33209	34783	3,31

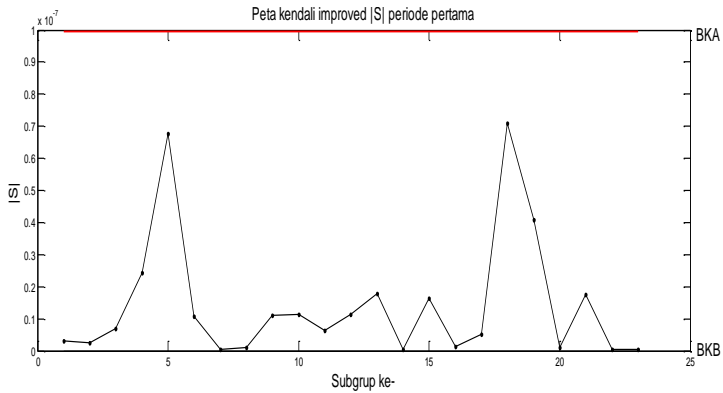
Tabel 4.8 menunjukkan bahwa proses produksi LNFL tipe E pada periode pertama belum kapabel jika ditinjau dari karakteristik atribut karena nilai indeks kapabilitas < 1 . Proses belum kapabel mengindikasikan bahwa terdapat banyak kaca tipe E yang berada di luar batas spesifikasi atribut kaca. Selain itu didapatkan informasi bahwa proses produksi berada pada level $3,31\sigma$ dan dapat dikatakan sudah cukup baik walaupun masih jauh dari level 6σ .

4.1.4 Analisis Kapabilitas Variabel Kaca LNFL Tipe E

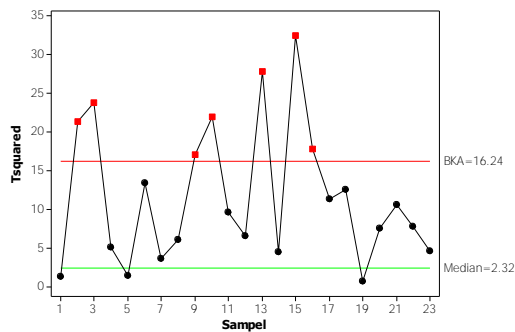
Prosedur analisis pada karakteristik variabel kaca tipe E sama seperti analisis pada kaca tipe DN yang telah dijelaskan pada Subbab 4.1.2. Sehingga hanya akan ditampilkan beberapa poin penting pada tiap langkah analisis. Berdasarkan Lampiran R dan S dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran periode pertama LNFL tipe E telah memenuhi asumsi distribusi Normal Multivariat namun belum memenuhi asumsi dependensi antar variabel. Sesuai pembahasan di Subbab 4.1.2, maka diasumsikan hasil pengukuran telah memenuhi asumsi dependensi. Karena kedua asumsi telah terpenuhi, maka dapat dilakukan analisis multivariat.

1. Identifikasi Kondisi Proses dan Penyebab *Out of Control*

Langkah pertama dalam analisis kapabilitas adalah mengidentifikasi terkendali tidaknya proses menggunakan peta kendali *Improved |S|* dan T^2 *Hotelling*. Gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan bahwa hanya variabilitas proses yang telah terkendali secara statistik. Sedangkan rata-rata proses belum terkendali karena masih terdapat beberapa titik yang *out of control* (lihat Gambar 4.11), sehingga perlu dilakukan identifikasi variabel penyebab *out of control* menggunakan dekomposisi statistik uji T^2 *Hotelling*. Hasil dekomposisi menunjukkan bahwa ketiga variabel, yaitu ketebalan, kerataan, dan zebra merupakan penyebab kondisi *out of control* karena memiliki nilai $d_j > \chi_{0,05;1}^2$ (lihat Tabel 4.9)



Gambar 4.10 Peta Kendali *Improved |S|* LNFL Tipe E Periode I



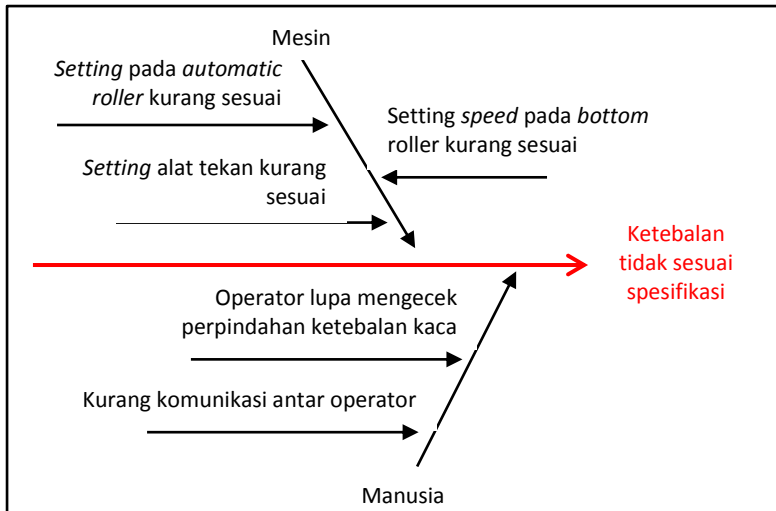
Gambar 4.11 Peta Kendali T^2 Hotelling LNFL Tipe E Periode I

Tabel 4.9 Hasil Dekomposisi LNFL Tipe E Periode I

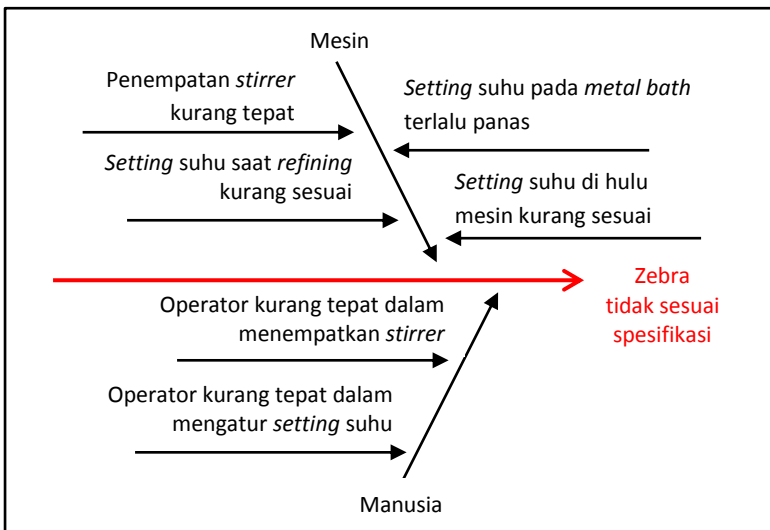
Subgrup	T^2	T_1^2	T_2^2	T_3^2	d_1	d_2	d_3	$\chi^2_{0,05;1}$
2	21,27	12,59	2,23	14,25	8.68*	19.04*	7.02*	5,99
3	23,76	7,29	12,88	6,58	16.47*	10.88*	17.18*	
9	17,08	3,19	7,59	9,51	13.89*	9.49*	7.57*	
10	21,94	2,37	13,53	8,71	19.57*	8.41*	13.23*	
13	27,75	8,20	9,15	17,81	19.55*	18.6*	9.94*	
15	32,45	4,35	19,52	12,67	28.1*	12.93*	19.78*	
16	17,80	1,25	10,73	8,17	16.55*	7.07*	9.63*	

*Nilai lebih besar daripada $\chi^2_{0,05;1}$

Akar penyebab untuk masing-masing variabel dapat dilihat pada Gambar 4.6, 4.12, dan 4.13.

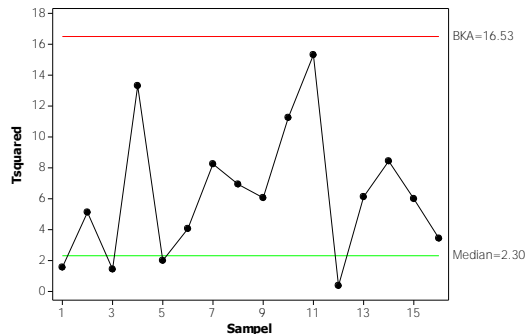


Gambar 4.12 Diagram Sebab Akibat Variabel Ketebalan Kaca



Gambar 4.13 Diagram Sebab Akibat Variabel Zebra

Permasalahan yang menyebabkan ketidaksesuaian ketebalan jika ditinjau dari faktor mesin adalah *setting* pada *automatic roller* kurang sesuai, *setting* alat tekan kurang sesuai, dan *setting speed* pada *bottom roller* kurang sesuai. *Roller* adalah alat yang digunakan untuk membentuk kaca menjadi datar dan memanjang. *Roller* yang berada di bagian bawah disebut dengan *bottom roller*, sedangkan yang di bagian atas disebut dengan *automatic roller*. Untuk faktor manusia, permasalahan yang terjadi adalah operator lupa mengecek perpindahan ketebalan kaca dan kurangnya komunikasi antar operator. Sedangkan untuk ketidaksesuaian zebra, jika ditinjau dari faktor mesin penyebabnya adalah penempatan *stirrer* kurang tepat, *setting* suhu saat *refining* kurang sesuai, *setting* suhu pada *metal bath* terlalu panas, dan *setting* suhu pada hulu mesin kurang sesuai. *Stirrer* adalah alat pengaduk adonan kaca pada proses pencampuran. Selanjutnya jika ditinjau dari faktor manusia, permasalahan yang terjadi adalah operator kurang tepat dalam menempatkan *stirrer* dan mengatur *setting* suhu. Penyebab kondisi *out of control* diketahui, sehingga ketujuh titik yang berada di luar batas kendali atas peta dapat dihapus dari analisis dan didapatkan hasil seperti pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Peta Kendali T^2 Hotelling LNFL Tipe E Perbaikan Pertama

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa rata-rata proses telah *in control*. Karena variabilitas dan rata-rata proses telah *in control*,

maka dapat disimpulkan bahwa kondisi proses produksi LNFL tipe E periode pertama telah terkendali secara statistik.

2. Perhitungan Indeks Kapabilitas dan Level Sigma

Perhitungan indeks kapabilitas dan level sigma dapat dilakukan karena proses telah terkendali secara statistik.

Tabel 4.10 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel Tipe E Periode I

C_P			C_{PK}			MC_P	MC_{PK}	DPMO	Level Sigma
X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3				
2,56	0,67	1,43	2,29	0,10	0,83	1.552	1.072	79861	2,91

Tabel 4.10 menunjukkan bahwa baik nilai MC_P maupun MC_{PK} lebih besar dari 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi LNFL tipe E pada periode pertama telah kapabel jika ditinjau dari karakteristik variabel. Karena telah kapabel, maka dapat disimpulkan bahwa jumlah kaca tipe E yang berada di luar batas spesifikasi variabel kaca relatif sedikit. Nilai DPMO sebesar 79861 berarti bahwa dari 1 juta produk, terdapat 798618 yang tidak memenuhi spesifikasi perusahaan. Selain itu, diperoleh informasi bahwa proses produksi masih kurang baik, yaitu $2,91\sigma$. Sehingga perlu dilakukan perbaikan untuk mencapai level 6σ .

4.2 Tahap *Improve*

Pada tahap ini dilakukan perbaikan proses dengan membuat beberapa alternatif solusi yang kemudian diterapkan pada proses produksi berdasarkan hasil analisis dengan *statistic tools*. Berdasarkan hasil analisis pada tahap *analyze*, didapatkan hasil bahwa faktor penyebab terjadinya cacat atribut dan variabel adalah karena kesalahan *setting* mesin. Oleh karena itu, tim QC memberikan beberapa saran perbaikan antara lain.

1. Melakukan *cleaning* dan *repairing* pada mesin produksi dan *metal bath* yang disebut sebagai *preventive maintenance*.
2. Mengubah pengaturan *pressure* yang awalnya 1,5 atm menjadi 2 atm
3. Menambah penggunaan senyawa N_2H_2 , yang awalnya 950-1000 mm H_2O menjadi 1300-1400 mm H_2O

Saran 1 telah diterapkan tiap bulan, dimana tanggal dilakukan *maintenance* tidak selalu sama dan memakan waktu hingga 8 jam. Sedangkan saran 2 dan 3 juga telah diterapkan pada tanggal 15 Mei 2015 terhadap mesin *furnace* dan *metal bath* pada proses peleburan dan pembentukan. Saran 2 dan 3 merupakan perbaikan insidental karena ada indikasi bahwa terjadi kenaikan jumlah cacat primer, khususnya jumlah *bubble* yang pada bulan Maret mengalami kenaikan sebesar 321 persen dari bulan sebelumnya (Lampiran F).

4.3 Tahap Control

Tahap *control* merupakan tahap terakhir dalam *six sigma*. Pada tahap ini akan dilakukan analisis pada hasil pengukuran periode kedua, yaitu hasil pengukuran setelah perbaikan diterapkan. Langkah analisis sama seperti pada tahap *analyze*, namun sebelumnya akan dilakukan analisis pergeseran proses untuk mengetahui ada tidaknya pergeseran proses setelah perbaikan diterapkan.

4.3.1 Identifikasi Pergeseran Proses

Identifikasi pergeseran proses dilakukan pada karakteristik atribut maupun variabel pada kedua tipe LNFL. Pertama akan dilakukan identifikasi pada karakteristik atribut menggunakan uji proporsi dua populasi. Selanjutnya untuk karakteristik variabel menggunakan uji MANOVA satu arah.

1. Analisis Pergeseran Proses pada Karakteristik Atribut

Uji proporsi dua populasi dapat diterapkan pada hasil pengukuran atribut untuk mendeteksi ada tidaknya pergeseran proses produksi dari periode pertama ke periode kedua. Berdasarkan hasil pengukuran pada Lampiran A untuk LNFL tipe DN dan Lampiran B untuk LNFL tipe E menggunakan Persamaan 2.21, maka didapatkan hasil seperti yang disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Uji Proporsi Dua Populasi

Tipe Kaca	Z	$Z_{\alpha/2}$	Keputusan	Kesimpulan
DN	0,072	1,96	H_0 Gagal	Tidak ada pergeseran proses
E	0,225	1,96	Ditolak	Tidak ada pergeseran proses

Tabel 4.11 memberikan informasi bahwa baik pada LNFL tipe DN maupun tipe E tidak terjadi pergeseran proses dari periode pertama ke periode kedua. Sehingga, batas kendali pada peta kendali c yang telah *in control* pada periode pertama dapat digunakan untuk membentuk peta kendali c pada periode kedua. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di Lampiran W.

2. Analisis Pergeseran Proses pada Karakteristik Variabel

Uji MANOVA satu arah dapat diterapkan pada kasus multivariat untuk mendeteksi ada tidaknya pergeseran proses dari periode pertama ke periode kedua. Variabel dependen berskala rasio, yaitu ketiga karakteristik variabel kaca (ketebalan, kerataan, dan zebra). Sedangkan variabel independennya berskala nominal, yaitu periode pertama dan kedua. Sebelum dilakukan uji MANOVA, hasil pengukuran harus memenuhi asumsi distribusi Normal Multivariat dan homogenitas matriks kovarian antar populasi. Berdasarkan Lampiran K dan S, didapatkan hasil bahwa hasil pengukuran kaca periode pertama dan kedua telah memenuhi asumsi distribusi Normal Multivariat. Selanjutnya dilakukan uji homogenitas dengan statistik uji *box's M* dimana hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Lampiran X.

Tabel 4.12 Hasil Uji Homogenitas Matriks Kovarian

Tipe Kaca	<i>p-value</i>	Keputusan	Kesimpulan
DN	0,001	H_0 Ditolak	Tidak homogen
E	0,105	H_0 Gagal Ditolak	Homogen

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa hanya hasil pengukuran LNFL tipe E yang memenuhi asumsi homogenitas matriks kovarian antar populasi. Oleh karena itu untuk kaca tipe DN diasumsikan memenuhi homogenitas matriks kovarian agar dapat dilakukan uji MANOVA satu arah dimana hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Lampiran Y.

Tabel 4.13 Hasil Uji MANOVA Satu Arah

Tipe Kaca	<i>p-value</i>	<i>Wilks' lambda</i>	Keputusan	Kesimpulan
DN	0,000	0,920	H_0 Ditolak	Ada pergeseran proses
E	0,000	0,911	H_0 Ditolak	Ada pergeseran proses

Tabel 4.13 merupakan hasil uji MANOVA dimana hipotesis alternatifnya adalah terdapat pergeseran proses. Dapat dilihat bahwa didapatkan hasil H_0 ditolak yang berarti bahwa ada pergeseran proses produksi LNFL baik tipe DN maupun E dari periode pertama ke periode kedua. Hal tersebut mengindikasikan bahwa batas kendali pada peta T^2 Hotelling periode pertama yang telah *in control* tidak dapat digunakan untuk membentuk peta pada periode kedua. Selanjutnya dilakukan pendeskripsian hasil pengukuran pada periode kedua menggunakan statistika deskriptif yang masing-masing ditampilkan pada Tabel 4.14 dan 4.15.

Tabel 4.14 Statistika Deskriptif Karakteristik Atribut Periode II

Tipe Kaca	Jenis Cacat					Jumlah
	<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>	
DN	7	0	0	0	19	26
E	32	2	0	0	0	34

Tabel 4.15 Statistika Deskriptif Karakteristik Variabel Periode II

Tipe kaca	Variabel	Rataan	Deviasi standar	Minimum	Maksimum	BSB	BSA
DN	X_1	2,017	0,027	1,935	2,073	1,93	2,15
	X_2	0,050	0,023	0,020	0,110*	0,00	0,06
	X_3	52,451	1,365	50,000	56,250*	45,00	55,00
E	X_1	2,023	0,019	1,975	2,080	1,93	2,15
	X_2	0,041	0,019	0,000	0,100*	0,00	0,06
	X_3	52,358	1,407	47,750	55,750*	45,00	55,00

Ket: *) Nilai melebihi BSA

Tabel 4.14 menunjukkan bahwa pada periode kedua, LNFL tipe E memiliki jumlah jenis cacat yang lebih banyak dibandingkan tipe DN. Jenis cacat terbanyak untuk LNFL tipe DN adalah *other*, sedangkan untuk tipe E adalah *bubble*. *Other* sendiri terdiri dari beberapa jenis cacat yang meliputi *roll imprint*, *bloom*, *dross*, dan *ream*. Tingginya jumlah cacat *other* yang terjadi diduga karena adanya reaksi kimia (oksidasi) antara timah dan oksigen pada *metal bath*. Oleh karena itu perlu dilakukan *maintenance* lebih pada *metal bath* untuk mengurangi jumlah cacat *other* karena mayoritas disebabkan oleh melekatnya cairan dan film timah pada kaca. Untuk karakteristik variabel (lihat Tabel 4.15) diperoleh informasi bahwa pada periode kedua,

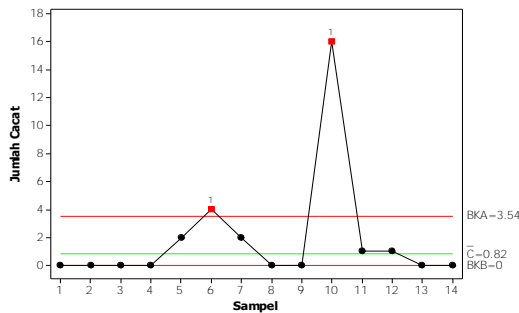
variabel yang memiliki hasil pengukuran melebihi BSA pada LNFL tipe DN maupun E adalah kerataan permukaan dan zebra. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai maksimum.

4.3.2 Analisis Kapabilitas Atribut LNFL

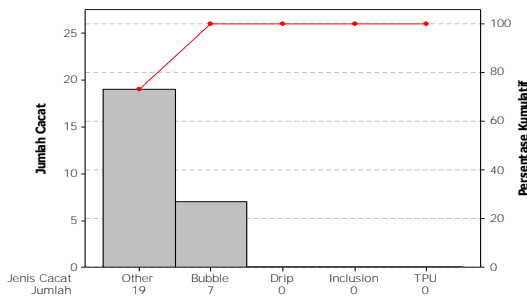
Langkah analisis pada tahap *control* sama seperti langkah analisis pada tahap *analyze*, sehingga hanya akan disajikan beberapa poin penting dari tiap langkah analisis.

1. Analisis Kapabilitas Atribut LNFL tipe DN

Langkah pertama adalah melakukan identifikasi kondisi proses dilakukan menggunakan peta kendali *c* yang disajikan pada Gambar 4.15. Batas kendali pada periode kedua menggunakan batas kendali peta *c* yang telah *in control* pada periode pertama karena tidak terjadi pergeseran proses (lihat Tabel 4.10).



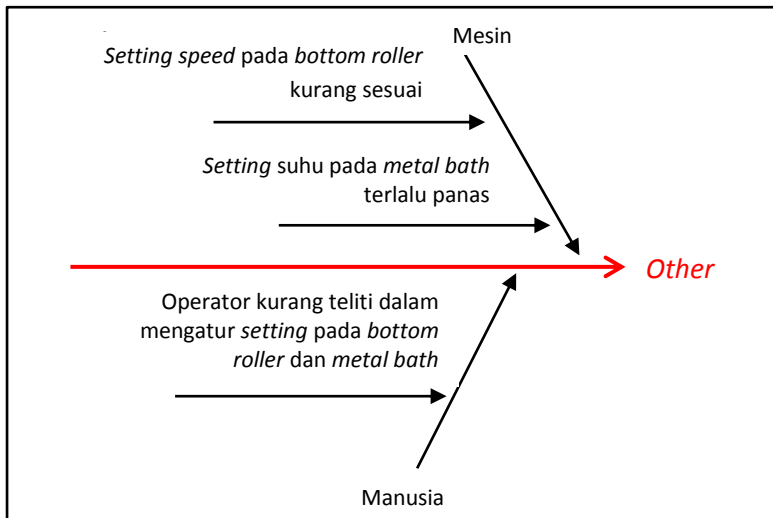
Gambar 4.15 Peta Kendali *c* LNFL Tipe DN Periode II



Gambar 4.16 Diagram Pareto LNFL Tipe DN Periode II

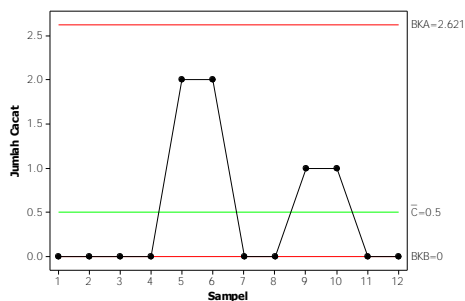
Gambar 4.15 menunjukkan bahwa proses belum terkendali, sehingga dilakukan identifikasi penyebab *out of control* menggunakan Diagram Pareto dan Diagram Sebab Akibat. Berdasarkan Gambar 4.16, jenis cacat dominan adalah jumlah *other*. Jenis cacat *other* terdiri dari *roll imprint*, *bloom*, *dross*, dan *ream*. Keempat jenis cacat tersebut banyak terjadi pada proses pembentukan di *metal bath*. Sedikit ketidaksesuaian pada *setting metal bath* akan berakibat pada terjadinya jenis cacat *other*, seperti yang disajikan pada Diagram Pareto dimana jumlah cacat *other* sangat tinggi, yaitu 19 cacat.

Inspeksi jumlah cacat untuk *other* tidak dipisah berdasarkan masing-masing jenis cacat oleh departemen QC karena sangat jarang terjadi pada LNFL tipe DN maupun E. Terjadinya jenis cacat *other* disebabkan oleh faktor mesin dan manusia (lihat Gambar 4.17). Permasalahan yang terjadi pada mesin adalah *setting speed* pada *bottom roller* kurang sesuai dan *setting* suhu pada *metal bath* terlalu panas. Sedangkan jika ditinjau dari faktor manusia adalah operator kurang teliti dalam mengatur *setting* pada *bottom roller* dan *metal bath*.



Gambar 4.17 Diagram Sebab Akibat Jenis Cacat *Other*

Penyebab titik *out of control* diketahui, sehingga kedua titik yang berada di luar batas kendali atas dapat dihapus dari analisis dan didapatkan hasil seperti Gambar 4.18. Terlihat bahwa semua titik berada dalam batas kendali, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses telah terkendali secara statistik. Selanjutnya, dilakukan perhitungan indeks kapabilitas dan level sigma proses.



Gambar 4.18 Peta Kendali *c* LNFL Tipe DN Perbaikan Pertama

Hasil dari analisis kapabilitas atribut untuk LNFL tipe DN pada periode kedua dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut Tipe DN Periode II

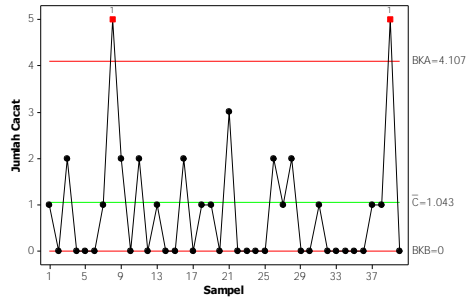
\hat{p}'	Equivalent $\hat{p}_{PK}^{\%}$	DPO	DPMO	Level Sigma
0,117503	0,39585	0,025	25000	3,46

Tabel 4.16 menunjukkan bahwa proses belum kapabel karena indeks kapabilitas bernilai < 1 . Hal tersebut mengindikasikan bahwa jumlah kaca DN yang berada di luar batas spesifikasi atribut kaca relatif banyak. Level sigma sebesar $3,24\sigma$ menunjukkan bahwa proses masih jauh dari level 6σ .

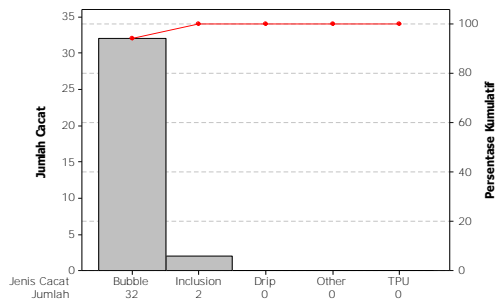
2. Analisis Kapabilitas Atribut LNFL tipe E

Kondisi proses produksi LNFL tipe E pada periode kedua belum terkendali secara statistik (lihat Gambar 4.19). Sehingga, harus dilakukan identifikasi jenis cacat dominan menggunakan Diagram Pareto yang disajikan pada Gambar 4.20. Jenis cacat dominan pada LNFL tipe E periode kedua adalah jumlah *bubble*, dimana akar penyebabnya dapat dilihat pada Gambar 4.6. Karena penyebab kondisi *out of control* diketahui, maka kedua titik yang

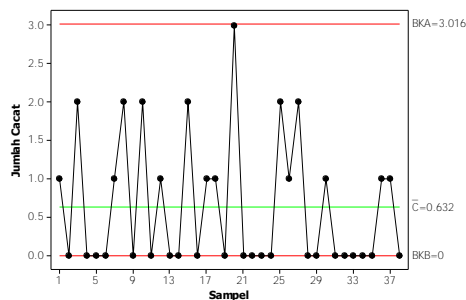
berada di luar batas kendali atas dapat dihapus dari analisis. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.21 yang menunjukkan bahwa proses telah terkendali secara statistik karena semua titik berada dalam batas kendali.



Gambar 4.19 Peta Kendali c LNFL Tipe E Periode II



Gambar 4.20 Diagram Pareto LNFL Tipe E Periode II



Gambar 4.21 Peta Kendali c LNFL Tipe E Perbaikan Pertama

Selanjutnya, dapat dilakukan perhitungan indeks kapabilitas dan level sigma proses yang disajikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut Tipe E Periode II

\hat{p}'	<i>Equivalent $\hat{p}_{PK}^{\%}$</i>	DPO	DPMO	Level Sigma
0,184945	0,42723	0,03478	34783	3,59

Tabel 4.17 memberikan informasi bahwa jumlah kaca tipe E yang berada di luar batas spesifikasi atribut kaca relatif banyak, sehingga proses belum kapabel. Level sigma sebesar $3,59\sigma$ mengindikasikan bahwa proses sudah cukup baik namun masih jauh dari level sigma yang diharapkan, yaitu 6σ .

3. Analisis Perbandingan Kapabilitas Atribut

Dampak perbaikan yang telah dilakukan oleh departemen QC dapat dilihat dari ada tidaknya perubahan indeks kapabilitas dan level sigma proses dari periode pertama ke periode kedua. Oleh karena itu akan dilakukan analisis perbandingan berdasarkan hasil pada Tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.18 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Atribut LNFL Periode I dan II

Periode	Tipe DN		Tipe E	
	Indeks Kapabilitas	Level Sigma	Indeks Kapabilitas	Level Sigma
Pertama	0,29889	3,24	0,33209	3,32
Kedua	0,39585	3,46	0,45001	3,59

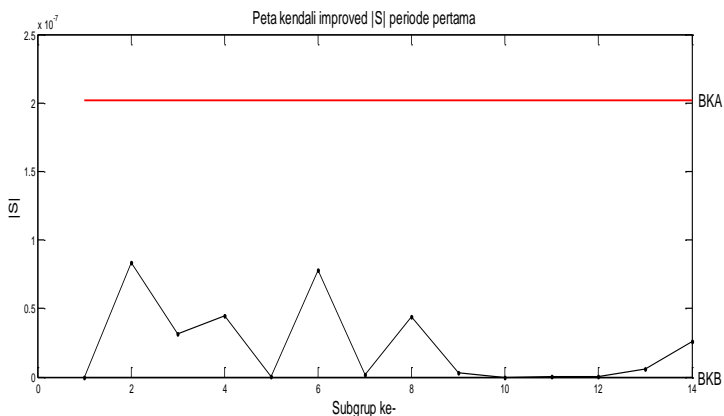
Tabel 4.18 menunjukkan bahwa jika ditinjau dari karakteristik atribut, terjadi kenaikan indeks kapabilitas dan level sigma pada kedua tipe LNFL. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perbaikan yang telah diterapkan telah mampu mengurangi jumlah kaca yang memiliki cacat atribut pada kedua tipe LNFL. Berkurangnya jumlah kaca yang cacat akan berakibat langsung pada naiknya indeks kapabilitas dan level sigma. Secara umum, dapat dilihat bahwa jika ditinjau dari karakteristik atribut, proses produksi LNFL tipe E lebih baik dibandingkan tipe DN baik pada periode pertama maupun kedua. Namun, level sigma keduanya masih cukup jauh dari 6σ sehingga perlu dilakukan *continuous improvement*, khususnya pada LNFL tipe DN.

4.3.3 Analisis Kapabilitas Variabel LNFL

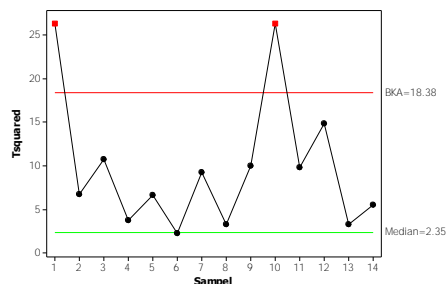
Analisis kapabilitas variabel pada tahap *control* memiliki langkah yang sama seperti pada tahap *analyze*. Sebelum melakukan analisis multivariat, terdapat dua asumsi yang harus dipenuhi. Berdasarkan Lampiran I, K, R, dan S, hasil pengukuran kedua tipe LNFL periode kedua telah memenuhi asumsi dependensi dan berdistribusi Normal Multivariat. Sehingga, analisis multivariat dapat dilakukan. Pertama akan dilakukan identifikasi kondisi proses menggunakan peta kendali *Improved |S|* dan T^2 Hotelling. Jika proses telah terkendali secara statistik, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan indeks kapabilitas dan level sigma proses.

1. Analisis Kapabilitas Variabel LNFL tipe DN

Kondisi proses produksi LNFL tipe DN periode kedua telah terkendali jika ditinjau dari variabilitas proses (lihat Gambar 4.22). Sedangkan rata-rata proses belum terkendali, sehingga perlu dilakukan dekomposisi statistik uji T^2 Hotelling untuk mengetahui variabel penyebab *out of control* (lihat Gambar 4.23). Hasil dekomposisi dapat dilihat pada Tabel 4.19.



Gambar 4.22 Peta Kendali *Improved |S|* LNFL Tipe DN Periode II



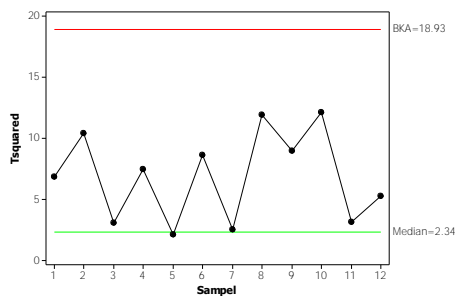
Gambar 4.23 Peta Kendali T^2 Hotelling Kaca Tipe DN Periode II

Tabel 4.19 Hasil Dekomposisi LNFL Tipe DN Periode II

Subgrup	T^2	T_1^2	T_2^2	T_3^2	d_1	d_2	d_3	$\chi^2_{0,05;2}$
1	26,37	22,04	11,04	25,52	4,33	15,33*	0,85	5,99
10	26,35	7,6	25,34	26,59	18,75*	1,01	-0,24	

*Nilai lebih besar daripada $\chi^2_{0,05;2}$

Variabel penyebab *out of control* adalah ketebalan dan kerataan permukaan kaca karena nilai $d_j > \chi^2_{0,05;1}$ (lihat Tabel 4.19). Faktor penyebab ketidaksesuaian ketebalan dan kerataan dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.12. Karena penyebab kondisi *out of control* diketahui, maka kedua titik yang berada di luar batas kendali atas dapat dihapus dari analisis. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.24. Terlihat bahwa variabilitas dan rataan telah terkendali secara statistik, sehingga dapat dilakukan perhitungan indeks kapabilitas dan level sigma proses yang disajikan pada Tabel 4.20.



Gambar 4.24 Peta Kendali T^2 Hotelling Kaca Tipe DN Perbaikan Pertama

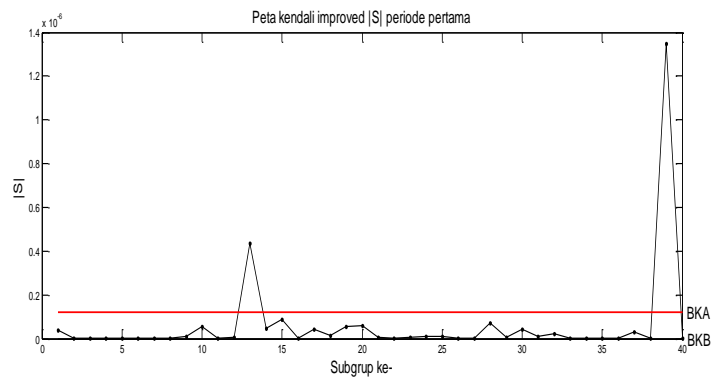
Tabel 4.20 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel Tipe DN Periode II

C_P			C_{PK}			MC_P	MC_{PK}	DPMO	Level Sigma
X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3				
2,02	0,55	1,22	1,62	0,21	0,6	1,2621	0,8092	69444	2,98

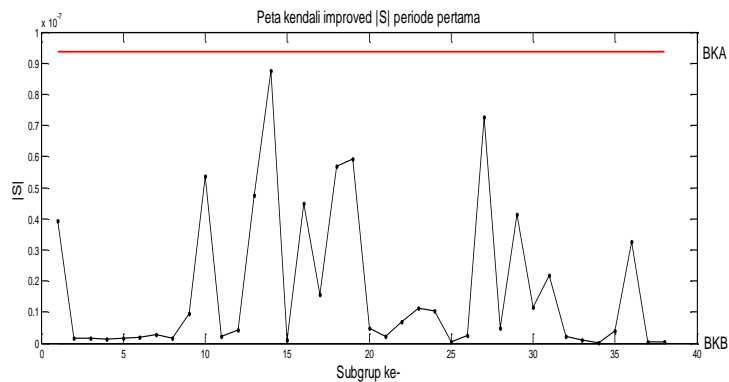
Tabel 4.20 menunjukkan bahwa proses produksi kaca LNFL tipe DN pada periode kedua belum kapabel jika ditinjau dari karakteristik variabel. Indeks kapabilitas < 1 mengindikasikan bahwa jumlah kaca tipe DN yang berada di luar batas spesifikasi variabel kaca relatif banyak. Level sigma proses berada pada level $2,98\sigma$ jika ditinjau dari karakteristik variabel. Nilai tersebut cukup buruk karena masih jauh dari level 6σ .

2. Analisis Kapabilitas Kapabilitas LNFL tipe E

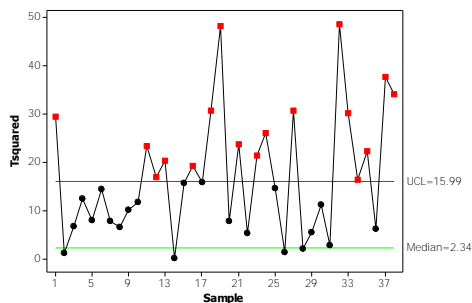
Identifikasi kondisi proses untuk LNFL tipe E periode kedua menghasilkan kesimpulan bahwa variabilitas proses belum terkendali secara statistik (lihat Gambar 4.25). Karena penyebab kondisi *out of control* diketahui, maka kedua titik yang berada di luar batas kendali atas peta kendali *Improved |S|* dapat dihapus dari analisis. Sehingga, didapatkan hasil seperti pada Gambar 4.26 yang menunjukkan bahwa variabilitas proses telah *in control*. Selanjutnya dilakukan monitoring pada rata-rata proses yang menghasilkan kesimpulan bahwa rata-rata proses belum terkendali (lihat Gambar 4.27). Oleh karena itu, perlu dilakukan dekomposisi statistik uji T^2 Hotelling untuk mengetahui variabel penyebab *out of control*. Setelah dilakukan dua kali perbaikan, akhirnya didapatkan peta kendali T^2 Hotelling yang telah *in control* (lihat Gambar 4.29). Hasil perhitungan dekomposisi dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan 4.22, sedangkan akar penyebab kondisi *out of control* dapat dilihat pada Gambar 4.6, 4.12, dan 4.13. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan indeks kapabilitas dan level sigma proses karena proses telah terkendali baik pada variabilitas maupun rata-rata. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.23.



Gambar 4.25 Peta Kendali *Improved |S|* LNFL Tipe E Periode II



Gambar 4.26 Peta Kendali *Improved |S|* LNFL Tipe E Perbaikan Pertama

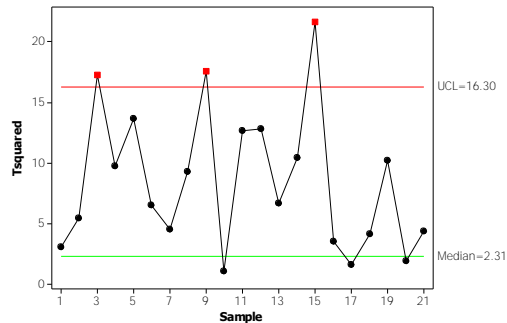


Gambar 4.27 Peta Kendali T^2 Hotelling LNFL Tipe E Periode II

Tabel 4.21 Hasil Dekomposisi LNFL Tipe E Periode II

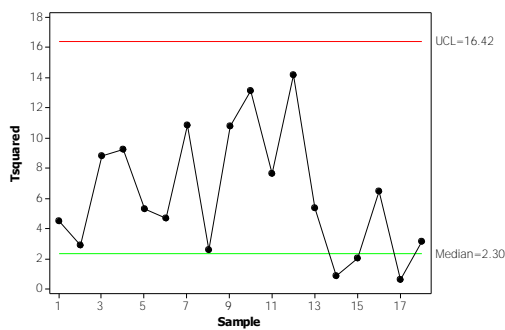
Subgrup	T^2	T_1^2	T_2^2	T_3^2	d_1	d_2	d_3	$\chi^2_{0,05;2}$
1	29,43	18,19	0,96	18,42	11,24*	28,47*	11,01*	5,99
11	23,42	0,003	13,95	14,09	23,42*	9,47*	9,33*	
12	16,89	8,30	6,39	5,27	8,59*	10,5*	11,62*	
13	20,40	0,82	1,14	0,92	19,58*	19,26*	19,48*	
16	19,23	4,51	8,54	8,48	14,72*	10,69*	10,75*	
18	30,68	4,96	7,85	5,39	25,72*	22,83*	25,29*	
19	48,28	1,62	17,09	15,44	46,66*	31,19*	32,84*	
21	23,71	3,68	2,84	2,43	20,03*	20,87*	21,28*	
23	21,32	2,44	2,10	1,37	18,88*	19,22*	19,95*	
24	26,04	11,03	11,71	1,26	15,01*	14,33*	24,78*	
27	30,69	0,54	0,74	0,19	30,15*	29,95*	30,5*	
32	48,55	1,79	0,63	1,17	46,76*	47,92*	47,38*	
33	30,11	5,63	27,66	24,92	24,48*	2,45	5,19	
34	18,32	0,79	18,21	17,97	17,55*	0,13	0,37	
35	22,32	4,87	6,65	10,09	17,45*	15,67*	12,23*	
37	37,71	0,67	2,95	3,19	37,04*	34,76*	34,52*	
38	34,15	5,08	20,49	15,39	29,07*	13,66*	18,76*	

*Nilai lebih besar daripada $\chi^2_{0,05;2}$

**Gambar 4.28** Peta Kendali T^2 Hotelling LNFL Tipe E Perbaikan Pertama**Tabel 4.22** Hasil Dekomposisi LNFL Tipe E Perbaikan Pertama

Subgrup	T^2	T_1^2	T_2^2	T_3^2	d_1	d_2	d_3	$\chi^2_{0,05;2}$
3	17,24	5,41	6,46	2,09	11,83*	10,78*	15,15*	5,99
9	17,60	5,48	1,16	7,12	12,12*	16,44*	10,48*	
15	21,64	13,08	6,23	10,67	8,56*	15,41*	10,97*	

*Nilai lebih besar daripada $\chi^2_{0,05;2}$



Gambar 4.29 Peta Kendali T^2 Hotelling Kaca Tipe E Perbaikan Kedua

Tabel 4.23 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel Tipe E Periode II

C_P			C_{PK}			MC_P	MC_{PK}	DPMO	Level Sigma
X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3				
2,55	0,71	1,65	2,18	0,52	1,00	1.635	1.235	21605	3,52

Tabel 4.23 memberikan informasi bahwa proses produksi kaca LNFL tipe E pada periode kedua telah kapabel jika ditinjau dari karakteristik variabel. Hal tersebut mengindikasikan bahwa jumlah kaca tipe E yang berada di luar batas spesifikasi variabel kaca relatif sedikit. Level sigma proses berada pada level $3,52\sigma$, sehingga dapat dikatakan bahwa proses sudah cukup baik namun masih jauh dari level 6σ .

3. Analisis Perbandingan Kapabilitas Variabel

Analisis perbandingan kapabilitas variabel untuk kedua tipe LNFL dapat dilihat pada Tabel 4.24 berikut.

Tabel 4.24 Indeks Kapabilitas dan Level Sigma Variabel LNFL Periode I dan II

Periode	Tipe DN		Tipe E	
	Kapabilitas	Level Sigma	Kapabilitas	Level Sigma
Pertama	1,04229	3,63	1,07226	2,91
Kedua	0,80919	2,98	1,23543	3,52

Tabel 4.24 menunjukkan bahwa setelah dilakukan perbaikan, terjadi penurunan indeks kapabilitas dan level sigma pada proses produksi LNFL tipe DN jika ditinjau dari karakteristik variabel. Hal tersebut mengartikan bahwa jumlah kaca yang berada di luar batas spesifikasi variabel kaca semakin bertambah.

Sebaliknya, terjadi kenaikan indeks kapabilitas dan level sigma pada LNFL tipe E yang berarti bahwa jumlah kaca yang berada di luar batas spesifikasi variabel kaca semakin berkurang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perbaikan yang dilakukan telah mampu mengurangi jumlah kaca cacat atribut maupun variabel produk LNFL tipe E dan belum mampu mengurangi jumlah produk cacat variabel tipe DN. Walaupun terjadi peningkatan, namun level sigma proses LNFL tipe E masih belum mencapai 6σ . Sehingga diperlukan *continuous improvement*, khususnya dengan mengidentifikasi penyebab turunnya level sigma variabel LNFL tipe DN. Karena jika akar penyebabnya diketahui, maka proses perbaikan dapat dilakukan dengan lebih terarah.

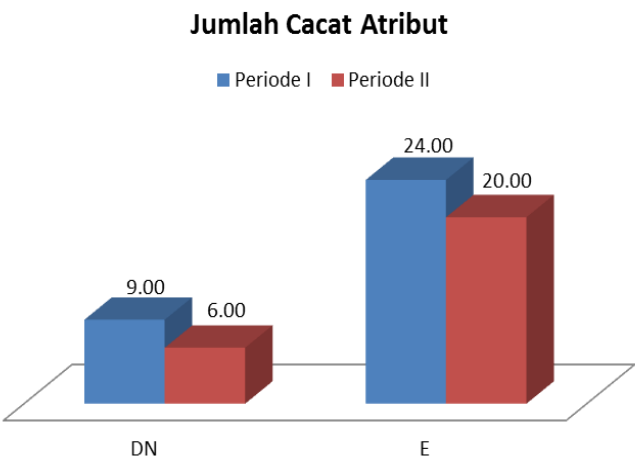
4. Analisis Perbandingan Jumlah Cacat

Tahap *improve* dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki proses produksi, sehingga diharapkan dapat mengurangi cacat (ketidaksesuaian) atribut dan variabel produk. Oleh karena itu, akan dilakukan analisis perbandingan jumlah cacat atribut dan variabel pada LNFL tipe DN maupun E.

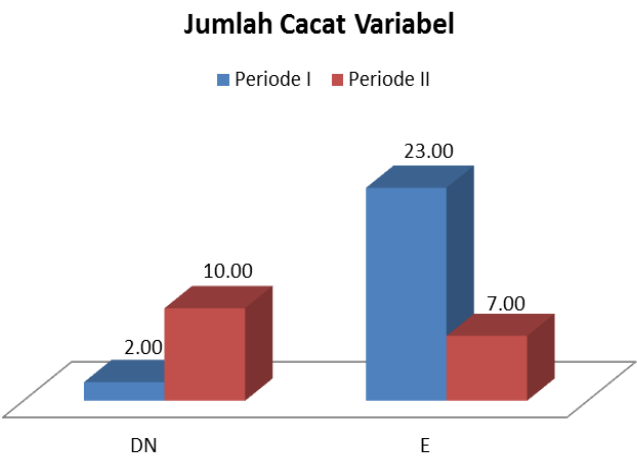
Tabel 4.25 Jumlah Cacat dan Ketidaksesuaian Spesifikasi Periode I dan II

Jumlah Cacat Atribut			Jumlah Cacat Variabel		
Jenis Kaca	Periode I	Periode II	Jenis Kaca	Periode I	Periode II
DN	9	6	DN	2	10
E	24	20	E	23	7

Tabel 4.25 menunjukkan bahwa setelah dilakukan perbaikan, terdapat peningkatan jumlah cacat variabel pada LNFL tipe DN. Peningkatan tersebut sebanding dengan penurunan indeks kapabilitas dan level sigma kaca tipe DN pada periode kedua (lihat Tabel 4.24). Sedangkan untuk LNFL tipe E terjadi penurunan baik pada jumlah cacat atribut maupun variabel. Hal tersebut mengindikasikan bahwa perbaikan yang telah diterapkan dapat menurunkan jumlah cacat atribut kedua tipe kaca dan menurunkan jumlah cacat variabel kaca tipe E. Tabel 4.25 juga disajikan pada Gambar 4.30 dan 4.31.



Gambar 4.30 Diagram Batang Jumlah Cacat Atribut Produk LNFL



Gambar 4.31 Diagram Batang Jumlah Cacat Variabel Produk LNFL

5. Analisis Perbandingan Dependensi Antar Variabel

Korelasi antar variabel pada LNFL tipe DN maupun tipe E pada periode pertama sangat rendah. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil uji dependensi menggunakan statistik uji *Bartlett* yang memberikan kesimpulan bahwa tidak ada korelasi antara ketiga

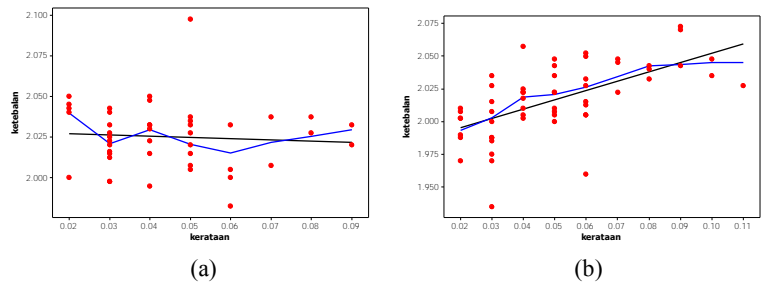
karakteristik variabel kaca, yaitu ketebalan, kerataan permukaan, dan zebra pada hasil pengukuran tipe DN maupun tipe E. Namun, terjadi perbedaan hasil uji pada periode kedua, yaitu setelah diterapkannya perbaikan oleh departemen QC. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengukuran periode kedua, baik untuk hasil pengukuran tipe DN maupun tipe E adalah ada korelasi di antara ketiga variabel tersebut. Karena terjadi perbedaan pada nilai korelasi antar variabel pada hasil pengukuran periode pertama dan kedua, maka akan dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan korelasi *pearson* dan *scatterplot* antar variabel. Tabel 4.26 merupakan nilai korelasi *pearson* antar variabel kaca.

Tabel 4.26 Perbandingan Dependensi Periode I dan II

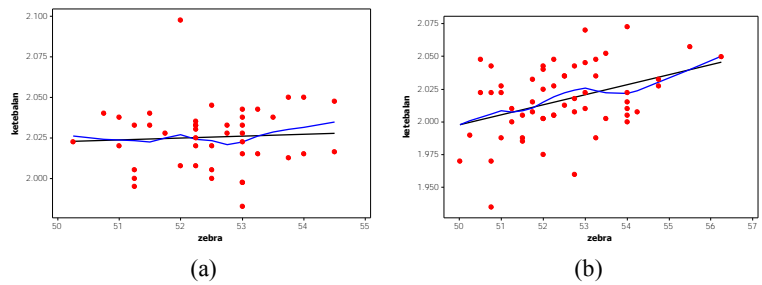
Periode	Tipe DN				Tipe E			
	Pertama		Kedua		Pertama		Kedua	
Variabel	X ₂	X ₃	X ₂	X ₃	X ₂	X ₃	X ₂	X ₃
X ₁	-0,068	0,059	0,608	0,386	0,067	0,101	0,331	0,063
X ₂		-0,173		0,086		0,020		0,145

Tabel 4.26 menunjukkan bahwa pada hasil pengukuran LNFL tipe DN, terjadi perubahan nilai korelasi antar variabel. Nilai korelasi antara variabel ketebalan dan kerataan mengalami peningkatan yang sangat tinggi, dari -0,068 menjadi 0,608. Korelasi antara ketebalan dan zebra juga mengalami peningkatan yang cukup tinggi, dari 0,059 menjadi 0,386. Sedangkan korelasi antara kerataan dan zebra mengalami sedikit penurunan, dari -0,173 menjadi 0,086. Terjadi perubahan arah hubungan pada ketebalan dan kerataan serta kerataan dan zebra, dimana awalnya terdapat hubungan yang berbanding terbalik (-), namun pada periode kedua menjadi hubungan yang berbanding lurus (+). Hal tersebut mengindikasikan bahwa setelah dilakukan *perbaikan*, terjadi perubahan hubungan dan arah hubungan antar variabel kaca tipe DN. Pada hasil pengukuran tipe E, korelasi antara variabel ketebalan dan kerataan mengalami peningkatan yang cukup tinggi, dari 0,067 menjadi 0,331. Korelasi antara kerataan dan zebra juga mengalami peningkatan dari 0,020 menjadi 0,145. Sedangkan korelasi antara ketebalan dan zebra mengalami sedikit

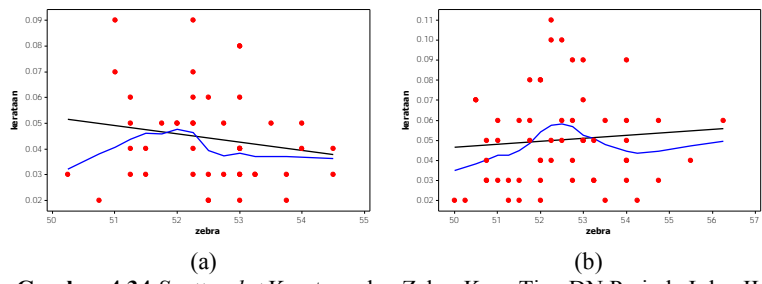
penurunan, dari -0,101 menjadi 0,063. Selanjutnya dilakukan deteksi visual menggunakan *scatterplot* antar variabel.



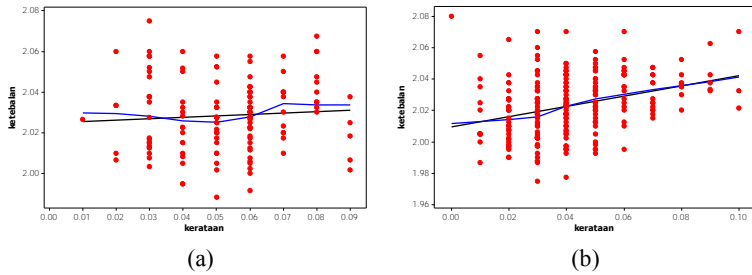
Gambar 4.32 *Scatterplot* Ketebalan dan Kerataan Tipe DN Periode I dan II



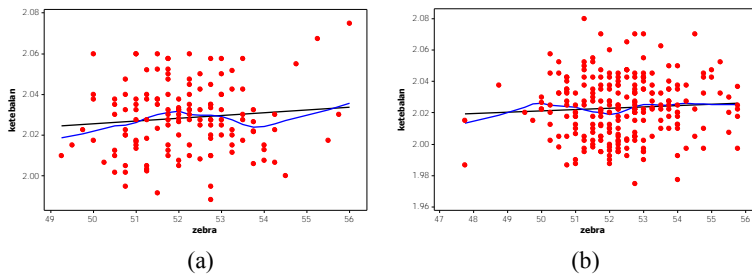
Gambar 4.33 *Scatterplot* Ketebalan dan Zebra Kaca Tipe DN Periode I dan II



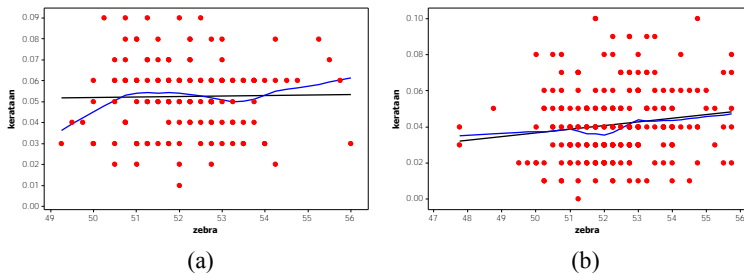
Gambar 4.34 *Scatterplot* Kerataan dan Zebra Kaca Tipe DN Periode I dan II



Gambar 4.35 Scatterplot Ketebalan dan Kerataan Kaca Tipe E Periode I dan II



Gambar 4.36 Scatterplot Ketebalan dan Zebra Tipe E Periode I dan II



Gambar 4.37 Scatterplot Kerataan dan Zebra Kaca Tipe E Periode I dan II

Gambar 4.32 dan 4.33 memberikan informasi bahwa terjadi perubahan kecenderungan pola data yang ditunjukkan oleh garis regresi linier (hitam) dan garis *lowess* (biru) pada hasil pengukuran LNFL tipe DN. Terlihat bahwa pada periode pertama, Gambar 4.32 (a) dan 4.33 (a) memiliki pola persebaran data yang cenderung membentuk garis mendatar. Sehingga dapat diduga bahwa tidak ada hubungan di antara kedua variabel. Sedangkan

untuk periode kedua, pola persebaran data pada Gambar 4.32 (b) dan 4.33 (b) cenderung membentuk pola linier positif, yang berarti terdapat hubungan searah di antara kedua variabel. Hal yang sama terjadi pada kaca Tipe E pada Gambar 4.35 dan 4.37 dan hal sebaliknya terjadi pada Gambar 4.36 dimana terjadi perubahan pola dari linier positif menjadi mendatar. Selanjutnya pada Gambar 4.34, terlihat bahwa terjadi perubahan arah pola dimana pada Gambar 4.34 (a) terlihat bahwa pola persebaran data cenderung membentuk linier negatif sedangkan pada Gambar 4.34 (b) cenderung membentuk pola linier positif. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terjadi perubahan hubungan antara variabel kaca tipe DN dan E sebelum dan setelah perbaikan dilakukan, walaupun pada kenyataan di lapangan memang terdapat hubungan di antara ketiga variabel tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Penutup laporan tugas akhir adalah kesimpulan dan saran dari hasil analisis pengendalian kualitas statistik dengan metode *six sigma* seperti berikut.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis pada data produk LNFL baik tipe DN maupun E adalah perbaikan yang diterapkan telah berhasil :

1. Mengurangi jumlah cacat atribut pada kedua tipe LNFL. Jumlah cacat pada kaca tipe DN turun dari 9 ke 6. Sedangkan jumlah cacat kaca tipe E turun dari 24 ke 20 .
2. Meningkatkan indeks kapabilitas atribut LNFL tipe DN dari 0,29 menjadi 0,39. Sedangkan level sigma mengalami kenaikan dari $3,24\sigma$ menjadi $3,46\sigma$. Jika ditinjau dari karakteristik variabel, indeks kapabilitas mengalami penurunan dari 1,04 menjadi 0,81 dimana level sigma juga mengalami penurunan dari $3,63\sigma$ menjadi $2,98\sigma$.
3. Meningkatkan indeks kapabilitas atribut LNFL tipe E dari 0,33 menjadi 0,43. Sedangkan level sigma mengalami kenaikan dari $3,32\sigma$ menjadi $3,59\sigma$. Jika ditinjau dari karakteristik variabel, indeks kapabilitas mengalami kenaikan dari 1,07 menjadi 1,24. Sedangkan level sigma mengalami kenaikan dari $2,91\sigma$ menjadi $3,52\sigma$.

5.2 Saran

Saran yang direkomendasikan untuk PT. X berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *six sigma* adalah perlu dilakukan pengawasan yang rutin pada *setting* mesin, khususnya pada tahap peleburan dan pembentukan. Hal tersebut dikarenakan menurut Diagram Sebab Akibat, kecacatan dan ketidaksesuaian spesifikasi banyak terjadi pada kesalahan *setting metal bath* pada tahap pembentukan. Inspeksi dan dokumentasi untuk jenis cacat *other* sebaiknya dipisah karena jumlahnya cukup banyak pada LNFL tipe DN periode kedua. Jika jenis cacat dominan pada

other diketahui, maka dapat dilakukan perbaikan pada faktor penyebabnya. Selain itu, perlu dilakukan identifikasi faktor penyebab turunnya level sigma variabel kaca tipe DN agar dapat dilakukan perbaikan. Agar tidak diperoleh kesimpulan yang salah, PT. X sebaiknya menerapkan analisis kapabilitas proses multivariat untuk mengevaluasi proses produksi LNFL karena kualitas kaca diukur dari beberapa variabel yang saling berkorelasi. Penelitian selanjutnya dianjurkan untuk tidak mengasumsikan homogenitas matriks kovarian antar populasi dan menambah jumlah subgrup pengamatan agar diperoleh data yang cukup untuk analisis *six sigma*.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Karakteristik Atribut Kaca Tipe DN

● Periode Pertama

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	Jumlah produk cacat	Proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
25-Jan-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
26-Jan-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
8-Mar-15	1	0	0	0	0	0	1	0.250	1	0.250
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
9-Mar-15	1	0	0	0	0	0	2	0.500	1	0.250
	2	0	0	0	0	0				
	3	2	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
13-Mar-15	1	1	0	0	0	0	1	0.250	1	0.250
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran A. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	Jumlah produk cacat	Proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
14-Mar-15	1	0	0	0	0	0	2	0.500	2	0.500
	2	1	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
15-Mar-15	1	0	0	0	0	0	1	0.250	1	0.250
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
16-Mar-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
17-Mar-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
18-Mar-15	1	0	0	0	0	0	2	0.500	1	0.250
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	2	0	0	0	0				

Lampiran A. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	Jumlah produk cacat	Proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
4-May-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

- Periode Kedua

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	Jumlah produk cacat	Proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
27-Jun-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
28-Jun-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
4-Jul-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran A. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	Jumlah produk cacat	Proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
18-Jul-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
19-Jul-15	1	1	0	0	0	0	2	0.500	2	0.500
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
20-Jul-15	1	0	0	0	0	0	4	1.000	2	0.500
	2	0	0	0	0	3				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
4-Aug-15	1	0	0	0	0	0	2	0.500	2	0.500
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
29-Aug-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran A. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	Jumlah produk cacat	Proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
31-Aug-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
1-Sep-15	1	0	0	0	0	0	16	4.000	1	0.250
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	16				
2-Sep-15	1	0	0	0	0	0	1	0.250	1	0.250
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
21-Sep-15	1	0	0	0	0	0	1	0.250	1	0.250
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
22-Sep-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran A. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	Jumlah produk cacat	Proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
7-Oct-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Data karakteristik Atribut Kaca Tipe E

• Periode Pertama

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
16-Jan-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
17-Jan-15	1	0	0	0	0	0	2	0.333	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	1	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
18-Jan-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
20-Jan-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
21-Jan-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
23-Jan-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
24-Jan-15	6	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	1	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
1-Feb-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
6-Mar-15	1	0	0	0	0	0	2	0.333	2	0.333
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	1	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
7-Mar-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
11-Mar-15	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	1	0	0				
	3	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
12-Mar-15	1	0	0	0	0	0				
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
20-Mar-15	1	0	0	0	0	0				
	2	1	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0	3	0.500	3	0.500
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	1	0	0				
	6	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
22-Mar-15	1	1	0	0	0	0	2	0.333	2	0.333
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
23-Mar-15	1	0	0	0	0	0	4	0.667	3	0.500
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	1	0	0	0	0				
	6	2	0	0	0	0				
24-Mar-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
19-Apr-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
22-Apr-15	6	0	0	0	0	0	2	0.333	1	0.167
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	2	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
23-Apr-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
27-Apr-15	1	0	0	0	0	0	2	0.333	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	2	0	0	0	0				
	6	2	0	0	0	0				
30-Apr-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		Bubble	Inclusion	Drip	TPU	Other				
1-May-15	5	0	0	0	0	0	2	0.333	2	0.333
	6	0	0	0	0	0				
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	6	1	0	0	0	0				
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
2-May-15	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				

- Periode Kedua

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
23-May-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	1	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
24-May-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
26-May-15	1	0	0	0	0	0	2	0.333	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	1	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
3-Jun-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
4-Jun-15	6	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
6-Jun-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
7-Jun-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
9-Jun-15	1	1	0	0	0	0	5	0.833	4	0.667
	2	1	0	0	0	0				
	3	2	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
	5	1	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
10-Jun-15	1	0	0	0	0	0	2	0.333	2	0.333
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
29-Jun-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
30-Jun-15	1	1	0	0	0	0	2	0.333	2	0.333
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
1-Jul-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
2-Jul-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
3-Jul-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
5-Jul-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
17-Jul-15	1	0	0	0	0	0	2	0.333	2	0.333
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
22-Jul-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
23-Jul-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
24-Jul-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
25-Jul-15	6	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
26-Jul-15	1	0	0	0	0	0	3	0.500	3	0.500
	2	1	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
6-Aug-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
7-Aug-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
8-Aug-15	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
9-Aug-15	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
10-Aug-15	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	1	0	0	0	0	2	0.333	2	0.333
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	1	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
28-Aug-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	1	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
18-Sep-15	1	0	0	0	0	0	2	0.333	2	0.333
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	1	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
20-Sep-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
23-Sep-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
24-Sep-15	6	0	0	0	0	0				
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	4	0	0	0	0	0				
	5	1	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
25-Sep-15	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
28-Sep-15	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
29-Sep-15	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
30-Sep-15	5	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	6	0	0	0	0	0				
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	6	0	0	0	0	0				
	1	0	0	0	0	0				
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
1-Oct-15	5	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	6	0	0	0	0	0				
3-Oct-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	1	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				

Lampiran B. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Jenis Cacat					Jumlah cacat per subgrup	Rata-rata cacat per subgrup	jumlah produk cacat	proporsi produk cacat
		<i>Bubble</i>	<i>Inclusion</i>	<i>Drip</i>	<i>TPU</i>	<i>Other</i>				
4-Oct-15	1	0	0	0	0	0	1	0.167	1	0.167
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	1	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
5-Oct-15	1	1	0	0	0	0	5	0.833	3	0.500
	2	3	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	1	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				
10-Oct-15	1	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0.000
	2	0	0	0	0	0				
	3	0	0	0	0	0				
	4	0	0	0	0	0				
	5	0	0	0	0	0				
	6	0	0	0	0	0				

Lampiran C. Data Karakteristik Variabel Kaca Tipe DN

- Periode Pertama

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
25-Jan-15	1	2.03	0.09	52.25
	2	2.03	0.08	53.00
	3	2.04	0.07	51.00
	4	2.01	0.07	52.25

Lampiran C. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
26-Jan-15	1	1.98	0.06	53.00
	2	2.01	0.05	51.25
	3	2.00	0.06	51.25
	4	2.00	0.03	53.00
8-Mar-15	1	2.10	0.05	52.00
	2	2.02	0.03	54.50
	3	2.04	0.02	53.00
	4	2.05	0.04	54.50
9-Mar-15	1	2.05	0.02	53.75
	2	2.03	0.05	52.75
	3	2.02	0.05	52.25
	4	2.03	0.03	52.25
13-Mar-15	1	2.04	0.05	53.50
	2	2.03	0.06	52.25
	3	2.03	0.04	52.25
	4	2.03	0.05	51.75
14-Mar-15	1	2.01	0.05	52.00
	2	2.00	0.02	52.50
	3	2.03	0.03	52.75
	4	2.02	0.03	50.25
15-Mar-15	1	2.00	0.04	51.25
	2	2.02	0.04	53.00
	3	2.02	0.03	52.50
	4	2.02	0.03	53.25
16-Mar-15	1	2.00	0.03	53.00
	2	2.03	0.04	53.00
	3	2.04	0.05	52.25
	4	2.03	0.04	51.50
17-Mar-15	1	2.01	0.03	53.75
	2	2.04	0.03	53.25
	3	2.03	0.03	51.25
	4	2.04	0.02	50.75
18-Mar-15	1	2.04	0.03	51.50
	2	2.05	0.04	54.00
	3	2.05	0.02	52.50
	4	2.01	0.06	52.50

Lampiran C. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
4-May-15	1	2.02	0.04	53.00
	2	2.02	0.05	54.00
	3	2.02	0.09	51.00
	4	2.04	0.08	53.00

- Periode Kedua

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
27-Jun-15	1	2.07	0.09	53.00
	2	2.03	0.11	52.25
	3	2.04	0.08	52.00
	4	2.04	0.08	52.00
28-Jun-15	1	2.04	0.10	52.50
	2	2.04	0.05	52.50
	3	2.02	0.07	50.50
	4	2.01	0.06	52.50
4-Jul-15	1	2.02	0.04	50.75
	2	2.03	0.08	51.75
	3	2.04	0.05	50.75
	4	2.05	0.05	53.25
18-Jul-15	1	2.00	0.02	52.00
	2	2.05	0.06	53.50
	3	2.05	0.06	56.25
	4	2.03	0.06	51.00
19-Jul-15	1	1.99	0.02	51.50
	2	2.00	0.04	52.00
	3	2.01	0.06	54.00
	4	2.00	0.05	54.00
20-Jul-15	1	2.03	0.04	52.00
	2	2.07	0.09	54.00
	3	2.01	0.05	53.00
	4	2.01	0.06	51.50
4-Aug-15	1	2.04	0.09	52.75
	2	2.05	0.10	52.25
	3	2.03	0.06	54.75
	4	2.02	0.04	54.00

Lampiran C. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra (⁰)
29-Aug-15	1	2.03	0.03	54.75
	2	2.04	0.03	53.25
	3	2.02	0.06	51.75
	4	2.05	0.07	53.00
31-Aug-15	1	2.02	0.04	52.75
	2	2.01	0.04	52.25
	3	1.96	0.06	52.75
	4	1.97	0.02	50.00
1-Sep-15	1	1.97	0.03	50.75
	2	1.99	0.03	53.25
	3	1.99	0.03	51.00
	4	1.94	0.03	50.75
2-Sep-15	1	1.99	0.02	50.25
	2	2.00	0.03	51.25
	3	2.01	0.03	52.75
	4	1.99	0.03	51.50
21-Sep-15	1	2.01	0.02	54.25
	2	2.00	0.02	53.50
	3	2.01	0.04	54.00
	4	2.02	0.03	54.00
22-Sep-15	1	2.01	0.02	51.25
	2	1.98	0.03	52.00
	3	2.01	0.05	52.25
	4	2.02	0.05	53.00
7-Oct-15	1	2.01	0.05	51.75
	2	2.02	0.05	51.00
	3	2.06	0.04	55.50
	4	2.05	0.07	50.50

Lampiran D. Data Karakteristik Variabel Kaca Tipe E

• Periode Pertama

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
16-Jan-15	1	2.02	0.09	51.25
	2	2.01	0.09	50.25
	3	2.05	0.04	53.25
	4	2.04	0.04	52.75
	5	2.03	0.02	52.00
	6	2.01	0.02	50.50
17-Jan-15	1	2.01	0.03	49.25
	2	2.02	0.03	51.00
	3	2.02	0.03	54.00
	4	2.03	0.01	52.00
	5	2.03	0.02	52.75
	6	2.01	0.04	52.50
18-Jan-15	1	2.01	0.03	51.00
	2	2.01	0.06	53.75
	3	2.02	0.05	53.75
	4	2.01	0.02	54.25
	5	2.02	0.06	53.75
	6	2.01	0.03	54.00
20-Jan-15	1	2.00	0.04	50.75
	2	2.01	0.03	52.00
	3	2.05	0.06	52.25
	4	2.03	0.06	52.25
	5	2.02	0.04	49.50
	6	2.01	0.05	52.75
21-Jan-15	1	2.04	0.03	51.50
	2	2.01	0.05	51.25
	3	2.02	0.04	49.75
	4	2.01	0.06	54.00
	5	2.02	0.05	52.00
	6	2.04	0.08	53.00
23-Jan-15	1	2.00	0.06	51.25
	2	2.01	0.06	52.00
	3	2.03	0.06	53.00
	4	2.03	0.06	53.00
	5	2.03	0.08	54.25
	6	2.03	0.06	55.75

Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
24-Jan-15	1	2.03	0.06	52.75
	2	2.03	0.06	52.50
	3	2.02	0.07	50.75
	4	2.02	0.06	51.00
	5	2.04	0.07	52.25
	6	2.06	0.06	54.75
1-Feb-15	1	2.03	0.05	52.00
	2	2.03	0.06	52.00
	3	2.04	0.08	52.25
	4	2.02	0.07	53.00
	5	2.03	0.09	52.50
	6	2.02	0.05	51.75
6-Mar-15	1	2.02	0.07	51.50
	2	2.01	0.06	53.25
	3	2.03	0.06	53.75
	4	2.02	0.06	52.75
	5	1.99	0.05	52.75
	6	2.00	0.09	50.75
7-Mar-15	1	2.00	0.04	52.75
	2	2.00	0.06	54.50
	3	2.02	0.05	53.25
	4	2.03	0.04	53.50
	5	1.99	0.06	51.50
	6	2.02	0.04	52.25
11-Mar-15	1	2.06	0.08	51.50
	2	2.04	0.08	51.00
	3	2.05	0.08	50.75
	4	2.01	0.04	51.75
	5	2.02	0.04	50.75
	6	2.04	0.05	51.50
12-Mar-15	1	2.04	0.03	52.75
	2	2.04	0.03	50.00
	3	2.03	0.06	50.75
	4	2.02	0.06	50.75
	5	2.01	0.06	51.75
	6	2.02	0.05	50.00

Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
20-Mar-15	1	2.02	0.03	53.25
	2	2.06	0.03	53.50
	3	2.06	0.02	51.00
	4	2.05	0.03	52.50
	5	2.05	0.05	51.50
	6	2.06	0.03	51.75
22-Mar-15	1	2.02	0.04	53.25
	2	2.06	0.04	52.25
	3	2.03	0.05	52.25
	4	2.05	0.04	53.00
	5	2.03	0.05	51.75
	6	2.03	0.05	52.25
23-Mar-15	1	2.05	0.05	52.25
	2	2.06	0.03	50.00
	3	2.04	0.06	50.00
	4	2.05	0.07	51.75
	5	2.06	0.08	51.00
	6	2.06	0.07	51.75
24-Mar-15	1	2.05	0.03	51.25
	2	2.05	0.03	51.75
	3	2.05	0.05	51.75
	4	2.06	0.06	52.75
	5	2.04	0.06	51.50
	6	2.04	0.06	50.50
19-Apr-15	1	2.03	0.04	52.00
	2	2.02	0.05	52.75
	3	2.01	0.05	52.75
	4	2.01	0.04	50.75
	5	2.00	0.05	50.50
	6	2.00	0.03	51.25
22-Apr-15	1	2.06	0.05	53.00
	2	2.03	0.05	52.75
	3	2.03	0.04	53.75
	4	2.08	0.03	56.00
	5	2.01	0.03	50.50
	6	2.02	0.03	53.50

Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
23-Apr-15	1	2.04	0.03	51.00
	2	2.03	0.03	53.00
	3	2.03	0.05	52.50
	4	2.01	0.07	52.25
	5	2.04	0.09	52.00
	6	2.04	0.06	50.75
27-Apr-15	1	2.02	0.06	54.25
	2	2.04	0.06	52.50
	3	2.04	0.06	53.25
	4	2.04	0.06	53.50
	5	2.05	0.08	52.75
	6	2.03	0.05	52.75
30-Apr-15	1	2.03	0.06	53.50
	2	2.03	0.06	51.75
	3	2.03	0.06	52.00
	4	2.04	0.07	51.25
	5	2.07	0.08	55.25
	6	2.02	0.07	55.50
1-May-15	1	2.04	0.06	50.50
	2	2.03	0.05	51.00
	3	2.04	0.07	51.25
	4	2.04	0.07	51.75
	5	2.03	0.08	52.25
	6	2.03	0.05	51.75
2-May-15	1	2.03	0.07	50.50
	2	2.03	0.06	51.00
	3	2.03	0.06	51.75
	4	2.04	0.06	53.00
	5	2.03	0.05	51.25
	6	2.02	0.06	51.00

- Periode Kedua

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
23-May-15	1	2.03	0.08	50.00
	2	2.02	0.10	51.75
	3	2.04	0.08	55.75
	4	2.03	0.09	52.75
	5	2.03	0.05	51.50
	6	2.03	0.04	52.75
24-May-15	1	2.02	0.04	53.25
	2	2.02	0.04	52.25
	3	2.00	0.04	53.00
	4	2.01	0.04	52.75
	5	2.04	0.02	51.75
	6	2.03	0.05	53.25
26-May-15	1	2.03	0.05	50.50
	2	2.03	0.03	51.50
	3	2.03	0.03	52.75
	4	2.04	0.04	52.25
	5	2.00	0.02	50.25
	6	2.02	0.03	51.00
3-Jun-15	1	2.04	0.04	54.00
	2	2.04	0.06	52.00
	3	2.03	0.06	54.25
	4	2.04	0.05	53.75
	5	2.03	0.05	55.25
	6	2.04	0.03	53.00
4-Jun-15	1	2.03	0.03	52.00
	2	2.02	0.02	52.75
	3	2.04	0.02	52.75
	4	2.04	0.04	52.75
	5	2.02	0.03	52.75
	6	2.02	0.02	54.00
6-Jun-15	1	2.03	0.03	52.25
	2	2.03	0.03	50.75
	3	2.03	0.02	50.75
	4	2.02	0.04	51.50
	5	2.04	0.01	54.00
	6	2.03	0.01	50.25

Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
7-Jun-15	1	2.01	0.02	52.00
	2	2.01	0.01	50.75
	3	2.02	0.04	52.75
	4	2.03	0.03	52.25
	5	2.01	0.04	51.75
	6	2.00	0.03	52.25
9-Jun-15	1	2.02	0.05	51.00
	2	2.02	0.02	50.00
	3	2.04	0.06	53.00
	4	2.04	0.06	53.00
	5	2.04	0.05	51.50
	6	2.03	0.04	51.25
10-Jun-15	1	2.02	0.04	51.75
	2	2.02	0.03	51.00
	3	2.01	0.04	50.50
	4	2.05	0.07	51.25
	5	2.05	0.07	52.50
	6	2.04	0.08	52.25
29-Jun-15	1	2.00	0.05	51.50
	2	2.02	0.05	52.00
	3	2.03	0.09	53.25
	4	2.04	0.07	53.25
	5	2.04	0.07	53.00
	6	1.99	0.03	54.00
30-Jun-15	1	2.00	0.04	54.25
	2	2.00	0.04	51.75
	3	2.00	0.03	51.25
	4	2.00	0.04	51.50
	5	1.99	0.05	52.50
	6	2.01	0.05	52.75
1-Jul-15	1	2.02	0.04	53.75
	2	2.06	0.01	53.00
	3	2.03	0.03	53.75
	4	2.03	0.03	52.75
	5	2.03	0.04	55.50
	6	2.03	0.02	53.75

Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
2-Jul-15	1	2.01	0.02	55.50
	2	2.01	0.01	54.50
	3	2.05	0.03	52.75
	4	2.02	0.07	53.50
	5	2.01	0.05	50.25
	6	2.02	0.04	50.00
3-Jul-15	1	2.04	0.05	50.75
	2	2.03	0.04	53.50
	3	2.05	0.03	55.25
	4	2.04	0.08	54.25
	5	2.04	0.08	53.00
	6	2.04	0.09	52.75
5-Jul-15	1	2.04	0.08	50.75
	2	2.03	0.05	50.75
	3	2.05	0.04	54.75
	4	2.02	0.04	54.00
	5	2.00	0.02	52.00
	6	2.01	0.03	52.25
17-Jul-15	1	2.02	0.02	51.00
	2	2.00	0.02	51.50
	3	2.01	0.03	51.75
	4	2.00	0.02	52.25
	5	2.00	0.05	51.25
	6	2.01	0.04	51.00
22-Jul-15	1	2.05	0.06	50.25
	2	2.05	0.05	53.25
	3	2.04	0.07	52.50
	4	2.05	0.08	50.50
	5	2.02	0.05	53.50
	6	2.02	0.07	55.50
23-Jul-15	1	2.03	0.07	50.75
	2	2.02	0.08	52.00
	3	2.04	0.04	51.75
	4	2.03	0.04	51.00
	5	2.06	0.05	50.25
	6	2.04	0.03	52.00

Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
24-Jul-15	1	2.03	0.04	52.00
	2	2.03	0.03	51.00
	3	2.07	0.04	52.75
	4	2.08	0.00	51.25
	5	2.05	0.05	51.50
	6	2.04	0.07	51.25
25-Jul-15	1	2.05	0.05	54.00
	2	2.07	0.06	54.50
	3	2.06	0.09	53.50
	4	2.07	0.10	51.75
	5	2.03	0.04	50.50
	6	2.05	0.05	52.50
26-Jul-15	1	2.04	0.04	51.50
	2	2.03	0.05	52.50
	3	2.02	0.05	50.75
	4	2.04	0.06	50.75
	5	2.02	0.04	52.50
	6	2.03	0.07	51.25
6-Aug-15	1	2.04	0.06	55.00
	2	2.04	0.06	53.75
	3	2.04	0.04	53.00
	4	2.05	0.05	55.00
	5	2.05	0.04	52.50
	6	2.04	0.04	54.75
7-Aug-15	1	2.03	0.04	52.75
	2	2.02	0.04	53.75
	3	2.02	0.04	54.50
	4	2.03	0.06	53.50
	5	2.00	0.06	52.25
	6	2.01	0.05	52.00
8-Aug-15	1	2.01	0.05	54.00
	2	2.02	0.05	51.75
	3	2.03	0.05	55.75
	4	2.01	0.06	54.75
	5	2.02	0.04	55.75
	6	2.02	0.03	54.00

Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
9-Aug-15	1	2.02	0.04	52.75
	2	2.02	0.06	53.00
	3	2.02	0.07	52.75
	4	2.03	0.10	54.75
	5	2.02	0.07	55.75
	6	2.03	0.05	53.75
10-Aug-15	1	2.02	0.07	52.75
	2	2.02	0.06	53.00
	3	2.03	0.07	53.25
	4	2.03	0.06	52.75
	5	2.02	0.05	52.25
	6	2.01	0.06	54.00
28-Aug-15	1	2.01	0.03	52.25
	2	2.01	0.04	53.75
	3	2.05	0.04	53.00
	4	2.02	0.05	53.25
	5	2.02	0.04	52.25
	6	2.02	0.04	52.25
18-Sep-15	1	2.01	0.01	51.75
	2	2.00	0.03	50.50
	3	2.03	0.02	50.00
	4	2.00	0.05	52.00
	5	1.99	0.03	47.75
	6	2.00	0.02	51.75
20-Sep-15	1	2.05	0.06	51.75
	2	2.05	0.05	52.25
	3	2.01	0.02	52.00
	4	2.01	0.03	51.50
	5	2.01	0.02	53.50
	6	2.01	0.02	51.50
23-Sep-15	1	2.03	0.02	51.75
	2	2.02	0.05	51.75
	3	2.04	0.05	50.75
	4	2.01	0.03	51.00
	5	2.02	0.02	49.50
	6	2.01	0.03	54.00

Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
24-Sep-15	1	2.03	0.02	51.50
	2	2.00	0.03	51.25
	3	2.04	0.03	52.00
	4	2.03	0.05	52.25
	5	2.02	0.01	50.25
	6	2.04	0.01	52.25
25-Sep-15	1	2.04	0.02	51.25
	2	2.07	0.02	52.50
	3	1.99	0.04	52.00
	4	2.02	0.03	53.00
	5	2.01	0.05	51.50
	6	2.01	0.04	51.00
28-Sep-15	1	2.00	0.03	52.50
	2	1.98	0.04	54.00
	3	2.00	0.02	55.75
	4	2.00	0.02	54.75
	5	1.99	0.03	51.00
	6	1.99	0.03	52.00
29-Sep-15	1	1.98	0.03	52.75
	2	2.00	0.03	53.00
	3	2.00	0.03	51.75
	4	2.00	0.03	52.25
	5	2.00	0.04	53.00
	6	2.00	0.05	52.25
30-Sep-15	1	2.00	0.03	52.50
	2	2.00	0.03	52.75
	3	2.01	0.02	52.25
	4	2.01	0.02	52.00
	5	2.01	0.04	52.75
	6	2.01	0.01	52.75
1-Oct-15	1	2.00	0.01	52.25
	2	1.99	0.02	52.00
	3	2.01	0.01	51.25
	4	2.01	0.01	53.25
	5	2.03	0.03	52.00
	6	2.02	0.02	52.25

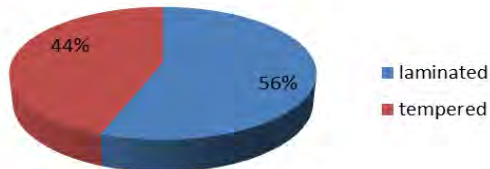
Lampiran D. Lanjutan

Tanggal	No. observasi	Karakteristik Variabel		
		Ketebalan (mm)	Kerataan (mm)	Zebra ($^{\circ}$)
3-Oct-15	1	2.02	0.02	49.75
	2	2.02	0.03	52.75
	3	2.05	0.04	53.75
	4	2.05	0.06	50.50
	5	2.04	0.04	53.75
	6	2.04	0.03	51.75
4-Oct-15	1	2.04	0.05	48.75
	2	2.06	0.03	51.50
	3	2.06	0.03	52.00
	4	2.05	0.04	51.25
	5	2.05	0.03	52.00
	6	2.04	0.04	50.75
5-Oct-15	1	2.03	0.04	54.00
	2	2.04	0.09	52.25
	3	2.07	0.03	53.00
	4	2.05	0.06	51.25
	5	2.00	0.04	53.00
	6	2.02	0.04	47.75
10-Oct-15	1	2.01	0.02	51.75
	2	1.99	0.02	51.00
	3	2.00	0.03	52.50
	4	2.00	0.02	52.00
	5	1.99	0.01	50.75
	6	1.99	0.03	53.00

Lampiran E. Diagram Pie

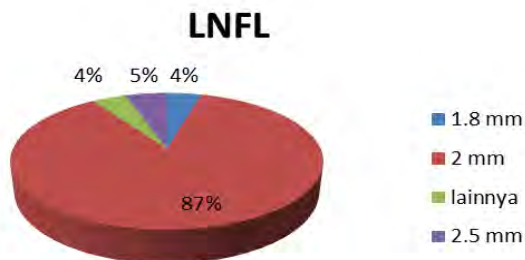
- Jumlah Kaca Otomotif

Kaca Otomotif

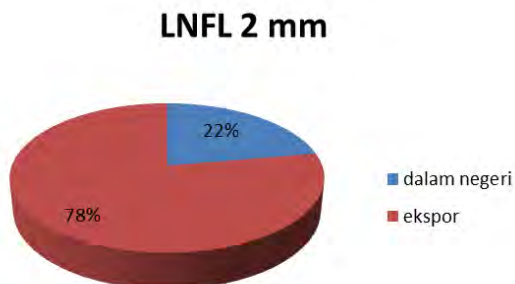


Lampiran E. Lanjutan

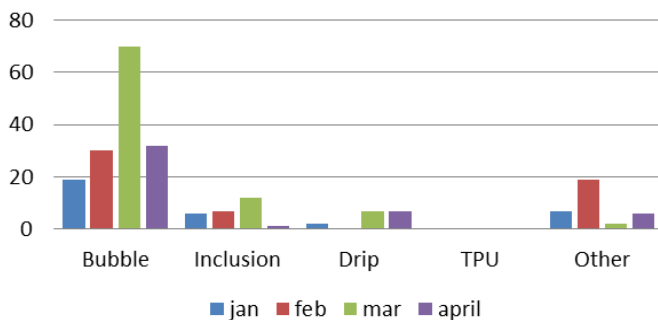
- Jumlah Kaca LNFL



- Jumlah Kaca LNFL 2 mm



Lampiran F. Diagram Batang Karakteristik Atribut pada Periode Pertama

Jumlah Cacat Primer Kaca Otomotif

Lampiran G. Perhitungan Kapabilitas Atribut LNFL Tipe DN

- Periode Pertama

$$\bar{u} = \frac{\bar{c}}{n} = \frac{0,818}{4} = 0,2045$$

$$\hat{p}' = 1 - P(x = 0) = 1 - e^{-\bar{u}}$$

$$\hat{p}' = 1 - e^{-0,2045} = 0,184945$$

$$\text{Equivalent } \hat{p}_{PK}^{\%} = \frac{Z(0,184945)}{3} = \frac{0,89668}{3} = 0,29889$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = p'x10^6$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = 0,184945x10^6 = 184945$$

- Periode Kedua

$$\bar{u} = \frac{\bar{c}}{n} = \frac{0,5}{4} = 0,125$$

$$\hat{p}' = 1 - P(x = 0) = 1 - e^{-\bar{u}}$$

$$\hat{p}' = 1 - e^{-0,125} = 0,117503$$

$$\text{Equivalent } \hat{p}_{PK}^{\%} = \frac{Z(0,117503)}{3} = \frac{1,18756}{3} = 0,39585$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = p'x10^6$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = 0,117503x10^6 = 117503$$

Lampiran H. Perhitungan Level Sigma Atribut LNFL Tipe DN

- Periode Pertama

$$DPO = \frac{9}{44 \times 5} = 0,040909$$

$$DPMO = 0,040909 \times 1.000.000 = 40909$$

$$\text{Level sigma} = z \left(\frac{1.000.000 - 40909}{1.000.000} \right) + 1,5 = 1,740234 + 1,5 = 3,24$$

- Periode Kedua

$$DPO = \frac{6}{48 \times 5} = 0,025$$

$$DPMO = 0,025 \times 1.000.000 = 25000$$

$$\text{Level sigma} = z \left(\frac{1.000.000 - 25000}{1.000.000} \right) + 1,5 = 1,959964 + 1,5 = 3,46$$

Lampiran I. Hasil Uji Dependensi LNFL Tipe DN

- Periode Pertama

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.528
Approx. Chi-Square		1.601
Bartlett's Test of Sphericity	df	3
Sig.		.659

- Periode Kedua

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.461
Approx. Chi-Square		35.626
Bartlett's Test of Sphericity	df	3
Sig.		.000

Lampiran J. Makro Minitab Uji Normal Multivariat

```

macro
qq x.1-x.p q dd
mconstant i n p t chis
mcolumn d x.1-x.p dd pi q ss tt
mmatrix s sinv ma mb mc md
let n=count(x.1)
cova x.1-x.p s
invert s sinv
do i=1:p
  let x.i=x.i-mean(x.i)
enddo
do i=1:n
  copy x.1-x.p ma;
  use i.

```

Lampiran J. Lanjutan

```

transpose ma mb
multiply ma sinv mc
multiply mc mb md
copy md tt
let t=tt(1)
let d(i)=t
enddo
set pi
  1:n
end
let pi=(pi-0.5)/n
sort d dd
invcdf pi q;
chis p.
plot dd*q
invcdf 0.5 chis;
chis p.
let ss=dd<chis
let t=sum(ss)/n
print t
if t=0.50
note mengikuti distribusi multivariat normal
else
note tidak mengikuti distribusi multivariat normal
endif
endmacro

```

Lampiran K. Hasil Uji Distribusi Normal Multivariat Tipe DN

- Periode Pertama

Data Display

```

t      0.409091
mengikuti distribusi multivariat normal
MTB > Correlation 'q_1' 'dj_1';
SUBC> NoPValues.

```

Lampiran K. Lanjutan

Correlations: q_1, dj_1

Pearson correlation of q_1 and dj_1 = 0.978

- Periode Kedua

Data Display

t 0.535714

tidak mengikuti distribusi multivariat normal

MTB > Correlation 'q_1' 'dj_1';

SUBC> NoPValues.

Correlations: q_1, dj_1

Pearson correlation of q_1 and dj_1 = 0.991

Lampiran L. Sintak Matlab untuk Peta Kendali *Improved* |S|

```
%=====
=====
%program Aplikasi Peta Kendali Improved |S|
%=====
=====
clear;clc;
disp('=====
=====')
%Menampilkan ukuran data
data=[%data];
%Banyaknya ukuran sampel setiap subgrup
n=6;
%Banyaknya subgrup
m=23;
%banyaknya karakteristik variabel
p=3;
%Vektor det_Sk
det_Sk=zeros(m,1);
%Input taraf signifikansi alfa
alfa=0.0027;%input ('Input nilai alfa=');
%Grand kovarian
Sigma=zeros(p,p);
%Menghitung grand kovarian
for j=1:m
```

Lampiran L. Lanjutan

```

dt{j}=data(n*(j-1)+1:j*n,:);
S{j}=cov(dt{j});
det_S(j,1)=det(S{j});
Sigma=Sigma+cov(dt{j});
end

Sigma=Sigma/m;
det_Sig=det(Sigma);
%Menghitung koefisien b1, b2, b3, dan b4
faktorb1=1;
for i=1:p
faktorb1=faktorb1*(n-i);
end
b1=(1/(n-1).^(p))*faktorb1;
faktorb2=1;
for i=1:p
faktorb2=faktorb2*(n-i+2);
end
faktorb2=faktorb2-faktorb1;
b2=(1/(n-1).^(2*p))*faktorb1*faktorb2;
faktorb3=1;
for i=1:p
faktorb3=faktorb3*((m*(n-1))-i+1);
end
b3=(1/(m*(n-1)).^(p))*faktorb3;
faktorb4=1;
for i=1:p
faktorb4=faktorb4*((m*(n-1))-i+3);
end
b4=(1/(m*(n-1)).^(2*p))*faktorb3*faktorb4;

%Menghitung BKA
ucl=det(Sigma)*((b1/b3)+(3*(b2/((b3).^(2)+b4)).^(0.5)));
%Menghitung BKB
lcl=det(Sigma)*((b1/b3)-
(3*(b2/((b3).^(2)+b4)).^(0.5)));

```

Lampiran L. Lanjutan

```

if lcl<=0
lcl=0;
else
lcl=lcl;
end
disp('=====')
fprintf(1,'\nBatas Kendali atas=%g\n',ucl);
fprintf(1,'\nBatas Kendali bawah=%g\n',lcl);
disp('=====')
%Menghitung determinan matriks kovarian S
for j=1:m
det_Sk(j)=(det(S{j}));
end
%Menghitung jumlah observasi yang keluar;
for j=1:m
if (det_Sk(j)>ucl|det_Sk(j)<lcl)
obi(j)=1;
else
obi(j)=0;
end;
%obr(j)=0;
end;
    out_i=sum(obi);
disp('=====')
fprintf(1,'Jumlah observasi yang keluar dengan
|S|=%g\n',out_i);
disp('=====')
%Membuat peta kendali
for j=1:m
BKA(j,1)=ucl;
BKB(j,1)=lcl;
end
x=1:m;

```

Lampiran L. Lanjutan

```
figure();
plot(x,det_Sk,'b*-',x,BKA,'k-',x,BKB,'k-')
title('Peta kendali improved |S| periode pertama');
xlabel('Subgrup ke-')
ylabel('|S|')
h=legend('|S|',1);
set(h,'Interpreter','none')
text(j,ucl,'BKA')
text(j,lcl,'BKB')
%selesai
```

Lampiran M. Perhitungan Dekomposisi LNFL tipe DN Periode I

$$\begin{aligned}
\bar{x}_{jk} &= \begin{bmatrix} 2,026 & 0,078 & 52,125 \\ 1,996 & 0,050 & 52,125 \\ 2,051 & 0,035 & 53,500 \\ 2,032 & 0,038 & 52,750 \\ 2,032 & 0,050 & 52,438 \\ 2,014 & 0,033 & 51,875 \\ 2,013 & 0,035 & 52,500 \\ 2,024 & 0,040 & 52,438 \\ 2,032 & 0,028 & 52,250 \\ 2,035 & 0,038 & 52,625 \\ 2,022 & 0,065 & 52,750 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,025 \\ 0,044 \\ 52,489 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \\ S^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0002697 & 0,0000099 & -0,0029972 \\ 0,0000099 & 0,000172 & -0,0022443 \\ -0,0029972 & -0,0022443 & 1,0596591 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 3829,50125 & -82,33795 & 10,65704 \\ -82,33795 & 5982,04804 & 12,43687 \\ 10,65704 & 12,43687 & 1,00018 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Misalnya akan dihitung nilai $T_j^2; j = 1, 2, 3$ dan $d_j; j = 1, 2, 3$ pada subgrup yang *out of control*, yaitu subgrup ke-1, maka perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
T_1^2 &= n(\bar{x}_{jk} - \bar{x}_{.j})' S^{-1} (\bar{x}_{jk} - \bar{x}_{.j}) \\
T_1^2 &= 4 \begin{bmatrix} 0,078 - 0,044 \\ 52,125 - 52,489 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 5982,04804 & 12,43687 \\ 12,43687 & 1,00018 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,078 - 0,044 \\ 52,125 - 52,489 \end{bmatrix} \\
T_1^2 &= 4[193,83067 \quad 0,06736] \begin{bmatrix} 0,03318 \\ -0,36364 \end{bmatrix} = 4[6,40716] = 25,62863 \\
T_2^2 &= 4 \begin{bmatrix} 2,026 - 2,025 \\ 52,125 - 52,489 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 3829,50125 & 10,65704 \\ 10,65704 & 1,00018 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2,026 - 2,025 \\ 52,125 - 52,489 \end{bmatrix} \\
T_2^2 &= 4[0,16687 \quad -0,34273] \begin{bmatrix} 0,000994 \\ -0,36364 \end{bmatrix} = 4[0,12479] = 0,499176
\end{aligned}$$

Lampiran M. Lanjutan

$$T_3^2 = 4 \begin{bmatrix} 2,026 - 2,025 \\ 0,078 - 0,044 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 3829,50125 & -82,33795 \\ -82,33795 & 5982,04804 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2,026 - 2,025 \\ 0,078 - 0,044 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = 4 \begin{bmatrix} -3,43441 & 193,1501 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,000994 \\ 0,033182 \end{bmatrix} = 4 \begin{bmatrix} 6,40566 \end{bmatrix} = 25,62263$$

Sehingga didapatkan

$$d_j = T^2 - T_j^2 ; j = 1, 2, \dots, p$$

$$d_1 = T^2 - T_j^2 = 25,8 - 25,63 = 0,17$$

$$d_2 = T^2 - T_j^2 = 25,8 - 0,49 = 25,31$$

$$d_3 = T^2 - T_j^2 = 25,8 - 25,62 = 0,18$$

Lampiran N. Perhitungan Kapabilitas Variabel LNFL Tipe DN

- Periode Pertama

$$MC_P = \sum_{j=1}^p W_j C_P(X_j) = (0,33 \times 2,18) + (0,33 \times 0,74) + (0,33 \times 1,58) \\ = 1,485$$

$$MC_{PK} = \sum_{j=1}^p W_j C_{PK}(X_j) = (0,33 \times 1,88) + (0,33 \times 0,47) + (0,33 \times 0,78) \\ = 1,0329$$

- Periode Kedua

$$MC_P = \sum_{j=1}^p W_j C_P(X_j) = (0,33 \times 2,02) + (0,55 \times 0,71) + (0,33 \times 1,22) \\ = 1,2507$$

$$MC_{PK} = \sum_{j=1}^p W_j C_{PK}(X_j) = (0,33 \times 1,62) + (0,33 \times 0,21) + (0,33 \times 0,60) \\ = 0,8019$$

Lampiran O. Perhitungan Level Sigma Variabel LNFL Tipe DN

- Periode Pertama

$$DPO = \frac{2}{40 \times 3} = 0,016667$$

Lampiran O. Lanjutan

$$DPMO = 0,016667 \times 1.000.000 = 16667$$

$$Level\ sigma = z \left(\frac{1.000.000 - 16667}{1.000.000} \right) + 1,5 = 2,12804 + 1,5 = 3,62804$$

- Periode Kedua

$$DPO = \frac{10}{48 \times 3} = 0,069444$$

$$DPMO = 0,069444 \times 1.000.000 = 69444$$

$$Level\ sigma = z \left(\frac{1.000.000 - 69444}{1.000.000} \right) + 1,5 = 1,47994 + 1,5 = 2,97994$$

Lampiran P. Perhitungan Kapabilitas Atribut LNFL Tipe E

- Periode Pertama

$$\bar{u} = \frac{\bar{c}}{n} = \frac{1,043}{6} = 0,173833$$

$$\hat{p}' = 1 - P(x = 0) = 1 - e^{-\bar{u}}$$

$$\hat{p}' = 1 - e^{-0,173833} = 0,159563$$

$$Equivalent\ \hat{p}_{PK}^{\%} = \frac{z(0,159563)}{3} = \frac{0,99626}{3} = 0,33209$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = p' \times 10^6$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = 0,159563 \times 10^6 = 159563$$

- Periode Kedua

$$\bar{u} = \frac{\bar{c}}{n} = \frac{0,556}{6} = 0,092778$$

$$\hat{p}' = 1 - P(x = 0) = 1 - e^{-\bar{u}}$$

$$\hat{p}' = 1 - e^{-0,092778} = 0,089975$$

$$Equivalent\ \hat{p}_{PK}^{\%} = \frac{z(0,089975)}{3} = \frac{1,28169}{3} = 0,42723$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = p' \times 10^6$$

$$ppm_{TOTAL,LT} = 0,089975 \times 10^6 = 89975$$

Lampiran Q. Perhitungan Level Sigma Atribut LNFL Tipe E

- Periode Pertama

$$DPO = \frac{24}{138 \times 5} = 0,034783$$

$$DPMO = 0,034783 \times 1.000.000 = 34783$$

$$Level\ sigma = z \left(\frac{1.000.000 - 34783}{1.000.000} \right) + 1,5 = 1,814726 + 1,5 = 3,315$$

Lampiran Q. Lanjutan

- Periode Kedua

$$DPO = \frac{20}{216 \times 5} = 0,018512$$

$$DPMO = 0,018512 \times 1.000.000 = 18512$$

$$Level\ sigma = z \left(\frac{1.000.000 - 18512}{1.000.000} \right) + 1,5 = 2,08549 + 1,5 = 3,58549$$

Lampiran R. Hasil Uji Dependensi LNFL Tipe E

- Periode Pertama

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.510
Approx. Chi-Square	2.236
Bartlett's Test of Sphericity df	3
Sig.	.525

- Periode Kedua

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.520
Approx. Chi-Square	29.027
Bartlett's Test of Sphericity df	3
Sig.	.000

Lampiran S. Hasil Uji Distribusi Normal Multivariat Tipe E

- Periode Pertama

Data Display

```
t      0.507246
tidak mengikuti distribusi multivariat normal
MTB > Correlation 'q' 'dj';
SUBC>   NoPValues.
```

Correlations: q, dj

Pearson correlation of q and dj = 0.991

- Periode Kedua

Data Display

```
t      0.508333
```

```
tidak mengikuti distribusi multivariat normal
MTB > Correlation 'q_1_1' 'dj_1_1';
SUBC> NoPValues.
```

Correlations: q_1_1, dj_1_1

Pearson correlation of q_1_1 and dj_1_1 = 0.991

Lampiran T. Perhitungan Kapabilitas Variabel LNFL Tipe E

- Periode Pertama

$$MC_P = \sum_{j=1}^p W_j C_P(X_j) = (0,33 \times 2,56) + (0,33 \times 0,67) + (0,33 \times 1,43) \\ = 1,5378$$

$$MC_{PK} = \sum_{j=1}^p W_j C_{PK}(X_j) = (0,33 \times 2,29) + (0,33 \times 0,1) + (0,33 \times 0,83) \\ = 1,0623$$

- Periode Kedua

$$MC_P = \sum_{j=1}^p W_j C_P(X_j) = (0,33 \times 2,55) + (0,33 \times 0,71) + (0,33 \times 1,65) \\ = 1,6203$$

$$MC_{PK} = \sum_{j=1}^p W_j C_{PK}(X_j) = (0,33 \times 2,18) + (0,33 \times 0,53) + (0,33 \times 1,00) \\ = 1,2243$$

Lampiran U. Perhitungan Level Sigma Variabel LNFL Tipe E

- Periode Pertama

$$DPO = \frac{23}{96 \times 3} = 0,079861$$

$$DPMO = 0,0902781 \times 1.000.000 = 79861$$

$$Level\ sigma = z \left(\frac{1.000.000 - 79861}{1.000.000} \right) + 1,5 = 1,40601 + 1,5 = 2,90601$$

- Periode Kedua

$$DPO = \frac{7}{108 \times 3} = 0,021605$$

$$DPMO = 0,021605 \times 1.000.000 = 21605$$

$$Level\ sigma = z \left(\frac{1.000.000 - 21605}{1.000.000} \right) + 1,5 = 2,02168 + 1,5 = 3,52168$$

Lampiran V. Tabel Konversi Six Sigma

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
0,00	933,193	1,53	488,033	3,06	59,38	4,59	1,001
0,01	931,888	1,54	484,047	3,07	58,208	4,60	968
0,02	930,563	1,55	480,061	3,08	57,053	4,61	936
0,03	929,219	1,56	476,078	3,09	55,917	4,62	904
0,04	927,855	1,57	472,097	3,10	54,799	4,63	874
0,05	926,471	1,58	468,119	3,11	53,699	4,64	845
0,06	925,066	1,59	464,144	3,12	52,616	4,65	816
0,07	923,641	1,60	460,172	3,13	51,551	4,66	789
0,08	922,196	1,61	456,205	3,14	50,503	4,67	762
0,09	920,73	1,62	452,242	3,15	49,471	4,68	736
0,10	919,243	1,63	448,283	3,16	48,457	4,69	711
0,11	917,736	1,64	444,33	3,17	47,46	4,70	687
0,12	916,207	1,65	440,382	3,18	46,479	4,71	664
0,13	914,656	1,66	436,441	3,19	45,514	4,72	611
0,14	913,085	1,67	432,505	3,20	44,565	4,73	619
0,15	911,492	1,68	428,576	3,21	43,633	4,74	598
0,16	909,877	1,69	424,655	3,22	42,716	4,75	577
0,17	908,241	1,70	420,74	3,23	41,815	4,76	557
0,18	906,582	1,71	416,834	3,24	40,929	4,77	538
0,19	904,902	1,72	412,936	3,25	40,059	4,78	519
0,20	903,199	1,73	409,046	3,26	39,204	4,79	501
0,21	901,475	1,74	405,165	3,27	38,364	4,80	483
0,22	899,727	1,75	401,294	3,28	37,538	4,81	467
0,23	897,958	1,76	397,432	3,29	36,727	4,82	450
0,24	896,165	1,77	393,58	3,30	35,93	4,83	434

Lampiran V. Lanjutan

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
0,25	894,35	1,78	389,739	3,31	35,148	4,84	419
0,26	892,512	1,79	385,908	3,32	34,379	4,85	404
0,27	890,651	1,80	382,089	3,33	33,625	4,86	390
0,28	888,767	1,81	378,281	3,34	32,884	4,87	376
0,29	886,86	1,82	374,484	3,35	32,157	4,88	362
0,30	884,93	1,83	370,7	3,36	31,443	4,89	350
0,31	882,977	1,84	366,928	3,37	30,742	4,90	337
0,32	881	1,85	363,169	3,38	30,054	4,91	325
0,33	878,999	1,86	359,424	3,39	29,379	4,92	313
0,34	876,976	1,87	355,691	3,40	28,716	4,93	302
0,35	874,928	1,88	351,973	3,41	28,067	4,94	291
0,36	872,857	1,89	348,268	3,42	27,429	4,95	280
0,37	870,762	1,90	344,578	3,43	26,803	4,96	270
0,38	868,643	1,91	340,903	3,44	26,19	4,97	260
0,39	866,5	1,92	337,243	3,45	25,588	4,98	251
0,40	864,334	1,93	333,598	3,46	24,998	4,99	242
0,41	862,143	1,94	329,969	3,47	24,419	5,00	233
0,42	859,929	1,95	326,355	3,48	23,852	5,01	224
0,43	857,69	1,96	322,758	3,49	23,295	5,02	216
0,44	855,428	1,97	319,178	3,50	22,75	5,03	208
0,45	853,141	1,98	315,614	3,51	22,216	5,04	200
0,46	850,83	1,99	312,067	3,52	21,692	5,05	193
0,47	848,495	2,00	308,538	3,53	21,178	5,06	185
0,48	846,136	2,01	305,026	3,54	20,675	5,07	179
0,49	843,752	2,02	301,532	3,55	20,182	5,08	172
0,50	841,345	2,03	298,056	3,56	19,699	5,09	165
0,51	838,913	2,04	294,598	3,57	19,226	5,10	159

Lampiran V. Lanjutan

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
0,52	836,457	2,05	291,16	3,58	18,763	5,11	153
0,53	833,977	2,06	287,74	3,59	18,309	5,12	147
0,54	831,472	2,07	284,339	3,60	17,864	5,13	142
0,55	828,944	2,08	280,957	3,61	17,429	5,14	136
0,56	826,391	2,09	277,595	3,62	17,003	5,15	131
0,57	823,814	2,10	274,253	3,63	16,586	5,16	126
0,58	821,214	2,11	270,931	3,64	16,177	5,17	121
0,59	818,589	2,12	267,629	3,65	15,778	5,18	117
0,60	815,94	2,13	264,347	3,66	15,386	5,19	112
0,61	813,267	2,14	261,086	3,67	15,003	5,20	108
0,62	810,57	2,15	257,846	3,68	14,629	5,21	104
0,63	807,85	2,16	254,627	3,69	14,262	5,22	100
0,64	805,106	2,17	251,429	3,70	13,903	5,23	96
0,65	802,338	2,18	248,252	3,71	13,553	5,24	92
0,66	799,546	2,19	245,097	3,72	13,209	5,25	88
0,67	796,731	2,20	241,964	3,73	12,874	5,26	85
0,68	793,892	2,21	238,852	3,74	12,545	5,27	82
0,69	791,03	2,22	235,762	3,75	12,224	5,28	78
0,70	788,145	2,23	232,695	3,76	11,911	5,29	75
0,71	785,236	2,24	229,65	3,77	11,604	5,30	72
0,72	782,305	2,25	226,627	3,78	11,304	5,31	70
0,73	779,35	2,26	223,627	3,79	11,011	5,32	67
0,74	776,373	2,27	220,65	3,80	10,724	5,33	64
0,75	773,373	2,28	217,695	3,81	10,444	5,34	62
0,76	770,35	2,29	214,764	3,82	10,17	5,35	59
0,77	767,305	2,30	211,855	3,83	9,903	5,36	57
0,78	764,238	2,31	208,97	3,84	9,642	5,37	54

Lampiran V. Lanjutan

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
0,79	761,148	2,32	206,108	3,85	9,387	5,38	52
0,80	758,036	2,33	203,269	3,86	9,137	5,39	50
0,81	754,903	2,34	200,454	3,87	8,894	5,40	48
0,82	751,748	2,35	197,662	3,88	8,656	5,41	46
0,83	748,571	2,36	194,894	3,89	8,424	5,42	44
0,84	745,373	2,37	192,15	3,90	8,198	5,43	42
0,85	742,154	2,38	189,43	3,91	7,976	5,44	41
0,86	738,914	2,39	186,733	3,92	7,76	5,45	39
0,87	735,653	2,40	184,06	3,93	7,549	5,46	37
0,88	732,371	2,41	181,411	3,94	7,344	5,47	36
0,89	729,069	2,42	178,786	3,95	7,143	5,48	34
0,90	725,747	2,43	176,186	3,96	6,947	5,49	33
0,91	722,405	2,44	173,609	3,97	6,756	5,50	32
0,92	719,043	2,45	171,056	3,98	6,569	5,51	30
0,93	715,661	2,46	168,528	3,99	6,387	5,52	29
0,94	712,26	2,47	166,023	4,00	6,21	5,53	28
0,95	708,84	2,48	163,543	4,01	6,037	5,54	27
0,96	705,402	2,49	161,087	4,02	5,868	5,55	26
0,97	701,944	2,50	158,655	4,03	5,703	5,56	25
0,98	698,468	2,51	156,248	4,04	5,543	5,57	24
0,99	694,974	2,52	153,864	4,05	5,386	5,58	23
1,00	691,462	2,53	151,505	4,06	5,234	5,59	22
1,01	687,933	2,54	149,17	4,07	5,085	5,60	21
1,02	684,386	2,55	146,859	4,08	4,94	5,61	20
1,03	680,822	2,56	144,572	4,09	4,799	5,62	19
1,04	677,242	2,57	142,31	4,10	4,661	5,63	18
1,05	673,645	2,58	140,071	4,11	4,527	5,64	17

Lampiran V. Lanjutan

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
1,06	670,031	2,59	137,857	4,12	4,397	5,65	17
1,07	666,402	2,60	135,666	4,13	4,269	5,66	16
1,08	662,757	2,61	133,5	4,14	4,145	5,67	15
1,09	659,097	2,62	131,357	4,15	4,025	5,68	15
1,10	655,422	2,63	129,238	4,16	3,907	5,69	14
1,11	651,732	2,64	127,143	4,17	3,793	5,70	13
1,12	648,027	2,65	125,072	4,18	3,681	5,71	13
1,13	644,309	2,66	123,024	4,19	3,573	5,72	12
1,14	640,576	2,67	121,001	4,20	3,467	5,73	12
1,15	636,831	2,68	119	4,21	3,364	5,74	11
1,16	633,072	2,69	117,023	4,22	3,264	5,75	11
1,17	629,3	2,70	115,07	4,23	3,167	5,76	10
1,18	625,516	2,71	113,14	4,24	3,072	5,77	10
1,19	621,719	2,72	111,233	4,25	2,98	5,78	9
1,20	617,911	2,73	109,349	4,26	2,89	5,79	9
1,21	614,092	2,74	107,488	4,27	2,801	5,80	9
1,22	610,261	2,75	105,65	4,28	2,718	5,81	8
1,23	606,42	2,76	103,835	4,29	2,635	5,82	8
1,24	602,568	2,77	102,042	4,30	2,555	5,83	7
1,25	598,706	2,78	100,273	4,31	2,477	5,84	7
1,26	594,835	2,79	98,525	4,32	2,401	5,85	7
1,27	590,954	2,80	96,801	4,33	2,327	5,86	7
1,28	587,064	2,81	95,098	4,34	2,256	5,87	6
1,29	583,166	2,82	93,418	4,35	2,186	5,88	6
1,30	579,26	2,83	91,759	4,36	2,118	5,89	6
1,31	575,345	2,84	90,123	4,37	2,052	5,90	5
1,32	571,424	2,85	88,508	4,38	0,988	5,91	5

Lampiran V. Lanjutan

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
1,33	567,495	2,86	86,915	4,39	0,926	5,92	5
1,34	563,559	2,87	85,344	4,40	0,866	5,93	5
1,35	559,618	2,88	83,793	4,41	0,807	5,94	5
1,36	555,67	2,89	82,264	4,42	1,75	5,95	4
1,37	551,717	2,90	80,757	4,43	1,695	5,96	4
1,38	547,758	2,91	79,27	4,44	1,641	5,97	4
1,39	543,795	2,92	77,804	4,45	1,589	5,98	4
1,40	539,828	2,93	76,359	4,46	0,538	5,99	4
1,41	535,856	2,94	74,934	4,47	1,489	6,00	3
1,42	531,881	2,95	73,529	4,48	0,441		
1,43	527,903	2,96	72,145	4,49	1,395		
1,44	523,922	2,97	70,781	4,50	1,35		
1,45	519,939	2,98	69,437	4,51	0,306		
1,46	515,953	2,99	68,112	4,52	1,264		
1,47	511,967	3,00	66,807	4,53	1,223		
1,48	507,978	3,01	65,522	4,54	1,183		
1,49	503,989	3,02	64,256	4,55	1,144		
1,50	500	3,03	63,008	4,56	1,107		
1,51	496,011	3,04	61,78	4,57	1,07		
1,52	492,022	3,05	60,571	4,58	1,035		

Lampiran W. Perhitungan Uji Dua Proporsi Karakteristik Atribut

- Tipe DN

$$Z = \frac{\widehat{p}_1 - \widehat{p}_2}{\sqrt{\widehat{p}\widehat{q}\left[\left(\frac{1}{n_1}\right) + \left(\frac{1}{n_2}\right)\right]}}$$

$$Z = \frac{0,159 - 0,161}{\sqrt{0,16 \times 0,84 \times \left[\left(\frac{1}{11}\right) + \left(\frac{1}{14}\right)\right]}}} = \frac{-0,002}{0,147637} = -0,011$$

- Tipe E

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left[\left(\frac{1}{n_1}\right) + \left(\frac{1}{n_2}\right)\right]}}$$

$$Z = \frac{0,145 - 0,125}{\sqrt{0,132 \times 0,868 \times \left[\left(\frac{1}{23}\right) + \left(\frac{1}{40}\right)\right]}} = \frac{0,02}{0,088656} = 0,225$$

Lampiran X. Hasil Uji Homogenitas Matrik Kovarian

- Tipe DN
- Tipe E

Box's Test of Equality of Covariance Matrices^a

Box's M	22.768
F	3.666
df1	6
df2	59739.304
Sig.	.001

Box's Test of Equality of Covariance Matrices^a

Box's M	10.598
F	1.749
df1	6
df2	540131.421
Sig.	.105

Lampiran Y. Hasil Uji MANOVA Satu Arah

- Tipe DN

Multivariate Tests^a

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	1.000	266675.921 ^b	3.000	96.000	.000
	Wilks' Lambda	.000	266675.921 ^b	3.000	96.000	.000
	Hotelling's Trace	8333.623	266675.921 ^b	3.000	96.000	.000
	Roy's Largest Root	8333.623	266675.921 ^b	3.000	96.000	.000
	Pillai's Trace	.080	2.774 ^b	3.000	96.000	.046
kode2	Wilks' Lambda	.920	2.774 ^b	3.000	96.000	.046
	Hotelling's Trace	.087	2.774 ^b	3.000	96.000	.046
	Roy's Largest Root	.087	2.774 ^b	3.000	96.000	.046

- Tipe E

Multivariate Tests^a

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	1.000	1589638.780 ^b	3.000	374.000	.000
	Wilks' Lambda	.000	1589638.780 ^b	3.000	374.000	.000
	Hotelling's Trace	12751.113	1589638.780 ^b	3.000	374.000	.000
	Roy's Largest Root	12751.113	1589638.780 ^b	3.000	374.000	.000
	Pillai's Trace	.089	12.164 ^b	3.000	374.000	.000
kode	Wilks' Lambda	.911	12.164 ^b	3.000	374.000	.000
	Hotelling's Trace	.098	12.164 ^b	3.000	374.000	.000
	Roy's Largest Root	.098	12.164 ^b	3.000	374.000	.000

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2015). *Data Perekonomian Indonesia 2015*. Diakses pada 13 September 2015, dari : http://bappenas.go.id/files/1014/2840/3807/Perekonomian_Indonesia_2015.pdf.
- Bothe, D. R. (1997). *Measuring Process Capability*. United States of America : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Cahyani, F.I. (2015). *Analisis Pengendalian Kualitas Proses Pengantongan Semen di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. dengan Pendekatan Six Sigma*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS : Surabaya.
- Chen, W. (2005). *Multivariate Statistical Process Control in Industrial Plants*. Thesis Jurusan Analisis Teknik dan Kebijakan Universitas Teknologi Delft : Delft.
- Creveling, C.M., Hambleton, L., & McCarthy, B. (2006). *Six Sigma For Marketing Processes*. United State of America : Prentice Hall Inc.
- Djauhari, M. A. (2005). Improved Monitoring of Multivariate Process Variability. *Journal of Quality Technology*, 37(1), 32-39.
- George, M. L., et al. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket Tool Book*. United States of America : McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hair, J. F., et al. (2010). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). United States of America : Pearson Education, Inc.
- Jarrett, J. E. (2013). *The Quality Movement in Hospital Care. Quality and Quantity*, November 2013. Diakses pada 20 September 2015, dari <http://link.springer.com/article/10.1007/s11135-013-9947-9>.
- Johnson, R. A., & Winchern, D. W. (2007). *Applied Multivariat Statistical Analysis*. United States of America : Pearson Education, Inc.
- Kementrian Perindustrian, (2014). *Data Produksi Kaca Lembaran*. Diakses pada 13 September 2015, dari <http://www.kemenperin.go.id/statistik/ibs_tahun.php?tahun=2006>.

- Kotler, P. & Keller K.L. (2009). *Marketing Management* (13 th ed.). United States of America : Pearson Education, Inc.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*, (6 th ed.). New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods*, (3 rd ed.). United States of America : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Pramudita, N. P. (2015). *Analisis Six Sigma Pada Produk Casing Pompa Tipe X di PT. Zenith Allmart Precisindo Sebagai Metode Perbaikan Kualitas Produk*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS : Surabaya.
- Qomariyah, I. N. (2015). *Pengendalian Kualitas Tepung Terigu “Palapa” dengan pendekatan Six Sigma di PT. Pioneer Flour Mill Industries*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS : Surabaya.
- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on The Presence of Priority for Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, 5(9), 27-36.
- Zahrati, Z. (2014). *Penerapan Metode DMAIC di PT. Coca Cola Bottling Indonesia Jawa Timur*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS : Surabaya.

BIODATA PENULIS



Penulis, Niken Dwi Larasati lahir di kota Lamongan pada tanggal 21 Desember 1993. Penulis adalah anak bungsu dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis adalah SDN BABAT VII pada tahun 2000-2006, SMPN I BABAT pada tahun 2006-2009, dan SMAN I BABAT pada tahun 2009-2012. Setelah lulus dari jenjang pendidikan menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan di jurusan Statistika ITS dengan prodi S-1. Penulis cukup aktif dalam kegiatan organisasi di kampus dengan menjadi bendahara divisi *Professional Statistics* (PSt) periode 2014-2015 dan menjadi panitia dalam beberapa kegiatan jurusan maupun institut. Sebagai anggota PSt, penulis aktif mengerjakan survai dan konsultasi analisis statistika untuk Tugas Akhir dari beberapa klien. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Pengantar Metode Statistika (PMS) pada tahun 2013. Pada Agustus hingga September 2015, penulis bersama rekannya diterima sebagai peserta kerja praktek di PT. Chevron Pacific Indonesia Provinsi Riau. Penulis memiliki motto hidup “Walau ditakdirkan kalah, kau tidak ditakdirkan untuk menyerah”. Penulis berharap hasil penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Segala kritik dan saran yang mem-bangun berkaitan dengan hasil laporan ini selalu penulis harapkan. Penulis dapat dihubungi via *email* melalui nikendwilarasati93@gmail.com.